

**UNIVERSIDADE DO MINHO**

**ESCOLA DE ENGENHARIA**

**Departamento de Engenharia Têxtil**

**Dayse Emilia Torres**

Desenvolvimento de um eco-compósito moldado  
composto de fibras recicladas celulósicas e  
termoplásticas

Dissertação apresentada à Escola  
de Engenharia da Universidade do  
Minho para obtenção do grau de  
Mestre em Design e Marketing.

Guimarães  
2009

**Ao meu amado filho Ráfaga.**

**“A verdadeira dificuldade não  
está em aceitar novas ideias,  
mas em escapar das ideias antigas”**

**John Maynard Keynes**

## **AGRADECIMENTOS**

Ao iniciar a apresentação deste trabalho, é com muito carinho que venho a agradecer a todas as pessoas que de uma forma ou outra, me ajudaram a alcançar este objectivo.

Antes de mais ninguém ao meu YHVH, pois eu só “ESTOU” por que ele “É”.

Ao meu querido e amado pai Geraldo Gonçalves Torres, que resolveu uma semana antes de eu iniciar a viagem por outros mares, virar estrela. Com certeza ele sabia que sendo uma estrela poderia ajudar a iluminar meu caminho, para que eu pudesse ver às pedras pequeninas, onde se tropeça. Às pedras grandes a gente dá a volta, ou as escala. Pois sempre há “uma pedra no caminho”. Obrigada meu pai amado, muitíssimo obrigada, pelo seu exemplo. Amor e saudades eternas.

Ao meu muito amado filho Higor Ráfaga Torres Pacheco, que é como seu nome diz, uma carícia do vento em minha vida. Que seja eu seu exemplo, e que ele me supere sempre.

Ao meu querido Manoel Fernando Bauer Cunha, apesar da distância presença e afectos constantes.

Ao meu orientador Professor Raul Fangueiro a quem tenho a maior admiração, e respeito, meus maiores agradecimentos.

A Maria José Ramos Carneiro Oliveira, minha “irmãzinha Portuguesa”, obrigada pela companhia, longas conversas e ensinamentos.

Aos professores que nunca se recusaram a responder às inúmeras perguntas, em especial Professor Hélder Manuel Teixeira Carvalho, sempre pronto a ajudar.

Ao Professor Fernando Duarte do Departamento de Engenharia de Polímeros, no auxílio e sugestões do desenvolvimento do molde para o compósito. Obrigada Professores.

Ao Querido pai do Santiago, João Velosa, sempre solícito.

A todos que respeitaram meu sonho, que hoje se torna uma meta sendo superada.

A todos que me deram encorajamento através de um sorriso, uma palavra amiga, “um conta comigo para o que precisar”. Palavras não expressam o tamanho de minha gratidão, mas os levo para sempre em meu coração, cada um de vocês.

Que YHVVH abençoe a todos.

Muito Obrigada.



# ÍNDICE GERAL

|   |       |
|---|-------|
| Desenvolvimento de um eco-compósito moldado composto de fibras recicladas<br>celulósicas e termoplásticas. .... | i     |
| AGRADECIMENTOS.....   | ii    |
| Índice Geral .....  | iv    |
| INDÍCE DE FIGURAS.....  | viii  |
| Índice de Quadros.....  | xv    |
| Índice de Equações .....  | xxii  |
| Resumo .....  | xxiii |
| Abstract .....  | xxv   |
| Capítulo I - INTRODUÇÃO .....   | 1     |
| Enquadramento do Trabalho .....   | 1     |
| 1.2 Justificação do Trabalho.....   | 3     |
| 1.3. Objectivos .....   | 5     |
| 1.4. Metodologia Adoptada.....  | 5     |
| 1.5. Estrutura da tese .....  | 6     |
| Capítulo II - Estado da Arte.....   | 9     |
| 2.1 Utilização racional de energia.....   | 9     |
| 2.1.1 RCCTE - Regulamento das Características de Comportamento Térmico de<br>Edifícios .....                    | 9     |
| 2.1.2 Regulamento energéticos para os novos edifícios de habitação com sistemas<br>de climatização .....        | 9     |
| 2.1.3 Consumo energético em Portugal no ano de 2007 .....   | 10    |
| 2.1.4 Perda de calor pela envolvente de um edifício.....  | 10    |
| 2.2 Diminuição do coeficiente global de transmissão térmica.....  | 11    |
| 2.3. A indústria de moda.....   | 15    |

|   |    |
|---|----|
| 2.3.1 Aspectos tecnológicos do sector da confecção.....   | 15 |
| 2.3.2 O processo produtivo: Corte .....   | 17 |
| 2.4 Dados económicos portugueses referentes à cadeia têxtil.....  | 18 |
| 2.5 Polímeros .....   | 20 |
| 2.5.1 Reciclagem de polímeros.....  | 21 |
| 2.5.2 Metodologias de reciclagem de polímeros .....   | 22 |
| 2.5.2.1 <i>Reciclagem primária</i> .....  | 23 |
| 2.5.3 Identificação prática dos plásticos.....  | 25 |
| 2.5.4 Esquema de produção de fibras sintéticas termoplásticas.....  | 28 |
| 2.6 Poli (tereftalato de etileno) - PET .....   | 30 |
| 2.6.1 História do PET.....  | 31 |
| 2.7 PET na Europa.....  | 32 |
| 2.8 Definição de têxteis técnicos .....   | 35 |
| 2.8.1 Mercados mundiais para têxteis técnicos: previsões para 2010.....   | 36 |
| 2.8.2 Domínio dos têxteis técnicos.....   | 37 |
| 2.8.3 Divisão por área de aplicação .....   | 37 |
| 2.8.4 Aplicações na construção civil e arquitectura.....  | 38 |
| 2.9 Não-tecidos .....   | 39 |
| 2.9.1 Métodos de produção da manta fibrosa .....  | 39 |
| 2.9.2 Participação dos não-tecidos por segmento de aplicação.....   | 41 |
| 2.10 Materiais compósitos.....  | 42 |
| 2.10.1 Matriz.....  | 44 |
| 2.10.2 Reforços têxteis .....   | 46 |
| 2.10.3 Compostos termoplásticos .....   | 48 |
| 2.11 Trabalhos científicos desenvolvidos com base em resíduos têxteis aglomerados com fibras ou filmes termoplásticos ..... | 49 |

|   |     |
|---|-----|
| Capítulo III – Materiais e Processos.....   | 51  |
| Desenvolvimento de não-tecidos híbridos com fibras recicladas.....                  | 51  |
| 3.1 Plano experimental.....   | 51  |
| 3.1.1 Produção .....  | 52  |
| 3.1.2 Matérias-primas Utilizadas .....  | 53  |
| 3.2 Parâmetros de produção .....  | 55  |
| 3.3 Propriedades dos não-tecidos .....  | 65  |
| 3.3.1 Ensaio de resistência à tracção.....  | 66  |
| 3.3.2 - Análise das características de comportamento à tracção do não-tecidos ..... | 67  |
| 3.4 Propriedades térmicas.....  | 79  |
| 3.4.1 Procedimentos .....   | 81  |
| 3.4.1 Resultados obtidos .....  | 83  |
| CAPÍTULO IV .....   | 85  |
| DESENVOLVIMENTO DO ECO-COMPÓSITO .....  | 85  |
| 4.1 Desenvolvimento do eco-compósito a partir do não-tecido.....                    | 85  |
| 4.1.1 Introdução.....   | 85  |
| 4.1.2 Produção do material compósito.....   | 85  |
| 4.2 Desenvolvimento do molde utilizado .....  | 87  |
| 4.2.1 Moldes .....  | 88  |
| As figuras seguintes mostram os desenhos dos moldes utilizados. ....                | 88  |
| 4.3 Produção do compósito.....  | 92  |
| 4.4 Equipamento utilizado para a moldagem do compósito.....                         | 96  |
| Capítulo V .....  | 100 |
| Avaliação das propriedades do ecocompósito .....                                    | 100 |
| 5.1 Introdução .....  | 100 |
| 5.1.1 Determinação da massa volúmica das amostras .....                             | 100 |

|  |     |
|--|-----|
| 5.2 Propriedades dos compósitos .....  | 101 |
| 5.3 Resultados .....   | 103 |
| 5.4 - Formas de construção / montagem dos painéis eco-compósitos para análises da permeabilidade ao ar das propriedades térmicas ..... | 113 |
| 5.5 Determinação da permeabilidade ao ar dos eco- compósito .....  | 116 |
| 5.6 Determinação das características das propriedades termicas do eco-compósito .  | 120 |
| 5.6.1 – Análise comparativa entre não-tecidos e compósitos.....  | 122 |
| capítulo VI.....   | 126 |
| 6.1 Conclusões .....   | 126 |
| 6.2 Perspectivas futuras .....   | 129 |
| REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....  | 130 |
| REFERÊNCIAS DE FONTES .....  | 133 |

## ÍNDICE DE FIGURAS

|            |  |    |
|------------|--|----|
| Figura 2.1 | Identificação de plásticos[5]  | 26 |
| Figura 2.2 | Esquema de produção de fibras termoplásticas[7]                                | 28 |
| Figura 2.3 | Estrutura química de um mero de Tereftalato de Etileno.[9]                     | 32 |
| Figura 2.4 | Dados de reciclagem toneladas de PET por ano na Europa.[11]                    | 33 |
| Figura 2.5 | Dados de campos de aplicação toneladas de PET reciclado por ano na Europa.[11] | 34 |
| Figura 2.6 | Dados estatísticos dos países que mais reciclagem toneladas de PET/ano.[11]    | 34 |
| Figura 2.7 | Dados de campos de aplicação para usos finais toneladas de PET reciclado.[11]  | 35 |
| Figura 3.1 | Aglomerados de fibras celulósicas recicladas                                   | 52 |
| Figura 3.2 | Aglomerados de fibras PET  | 52 |
| Figura 3.3 | <i>Roving</i> de fibra de vidro  | 54 |

|             |   |    |
|-------------|---|----|
| Figura 3.4  | Abertura da linha de produção não-tecido  | 59 |
| Figura 3.5  | Carda da linha de produção não tecido   | 59 |
| Figura 3.6  | Saída da linha produção de não-tecidos  | 59 |
| Figura 3.7  | As fibras de vidro, PET e de desperdícios   | 62 |
| Figura 3.8  | Vista do não tecido de onde foram retidas amostras  | 62 |
| Figura 3.9  | Vista lateral e superior do manto   | 63 |
| Figura 3.10 | Manto híbrido de não- tecido preparado para retiradas de amostras   | 63 |
| Figura 3.11 | Mantos de não tecido híbridos   | 64 |
| Figura 3.12 | Provetes das cinco diferentes composições   | 64 |
| Figura 3.13 | Dinamómetro Houndsfield8  | 65 |
| Figura 3.14 | Dinamómetro com corpo de prova não tecidos sendo ensaiado   | 65 |
| Figura 3.15 | Resultados obtidos referente ao resistência a tracção do corpo de prova 80RE20PET, retirados no sentido de saída, identificado como – Mac e no sentido contrário a saída identificado | 69 |

como - cross

|             |   |    |
|-------------|---|----|
| Figura 3.16 | Resultados obtidos referente ao resistência a tracção para o corpo de prova 90RE10PET, retirados no sentido de saída, identificado como – Mac e no sentido contrário a saída identificado como - cross. | 71 |
| Figura 3.17 | Resultados obtidos referente ao resistência ao alongamento corpo de prova A1FG, retirados no sentido de saída, identificado como – Mac e no sentido contrário a saída identificado como - cross         | 73 |
| Figura 3.18 | Resultados obtidos referente ao resistência ao alongamento corpo de prova A2FG, retirados no sentido de saída, identificado como – Mac e no sentido contrário a saída identificado como - cross         | 75 |
| Figura 3.19 | Resultados obtidos referente ao resistência ao alongamento corpo de prova A3FG, retirados no sentido de saída, identificado como – Mac e no sentido contrário a saída identificado como - cross         | 77 |
| Figura 3.20 | Esquema detalhado do equipamento de análise térmica Alambeta  | 79 |

|             |   |    |
|-------------|---|----|
| Figura 3.21 | Gráfico comparativo das propriedades térmicas para os não tecidos                   | 83 |
| Figura 4.1  | Molde com que iniciou - se a produção   | 85 |
| Figura 4. 2 | Vista da estufa utilizada em ensaios preliminares                                   | 85 |
| Figura 4 3  | Primeira tentativa de produção do compósito   | 85 |
| Figura 4.4  | Primeira tentativa de produção do compósito infrutífera o compósito ficou destruído | 85 |
| Figura4.5   | Vista superior do molde utilizada para a moldagem do compósito                      | 90 |
| Figura 4.6  | Desenho da parte inferior – macho - do jogo de moldes                               | 89 |
| Figura 4.7  | Desenho com cotagens do molde   | 90 |
| Figura 4.8  | Conjunto de moldes macho/fêmea - definitivas  | 92 |
| Figura 4.9  | Conjunto de moldes macho/fêmea com primeiro filme de silicone                       | 93 |
| Figura 4.10 | Conjunto de moldes macho/fêmea com primeiro filme de silicone + manta               | 93 |



|              |   |     |
|--------------|---|-----|
| Figura 4. 11 | Conjunto de moldes macho/fêmea com primeiro filme de silicone + manta+ filme        | 94  |
| Figura 4.12  | Conjunto de moldes macho/fêmea com primeiro filme de silicone + manta+filme+forma   | 94  |
| Figura 4.13  | Vista do equipamento utilizado para a moldagem do compósito                         | 96  |
| Figura 4.14  | Conjunto de formas com compósito já moldado sendo arrefecida                        | 96  |
| Figura 4.15  | Compósito moldado arrefecido  | 96  |
| Figura 4.16  | Compósito moldado, jogo de moldes e barras de contenção                             | 98  |
| Figura 5.1   | Dinamómetro Hounsfield utilizado nos testes de resistência a tracção                | 101 |
| Figura 5.2   | Vista de um corpo de prova rompido após conclusão do teste no Dinamómetro Hounsfiel | 101 |
| Figura 5. 3  | Resultados do ensaio de resistência a tracção para amostra <b>90RE10PET</b>         | 102 |
| Figura 5.4   | Resultados de teste a resistência a tracção para amostra <b>80RE20PET</b>           | 104 |

|             |  |     |
|-------------|--|-----|
| Figura 5.5  | Resultados de ensaio a tracção para amostra A1FG   | 105 |
| Figura 5.6  | Resultados de ensaio de resistência à tracção para amostras A2FG   | 107 |
| Figura 5.7  | Resultados de testes de Resistência Tracção para amostra <b>A3FG</b>   | 108 |
| Figura 5.8  | Gráfico comparativo entre composições de amostras e valores de teste de resistência à tracção, indicativo das áreas de comportamento a tracção | 110 |
| Figura 5.8  | Desenho do painel compósito simples  | 113 |
| Figura 5.9  | Formação do painel com dois compósitos sobrepostos   | 112 |
| Figura 5.10 | Formação do painel com três compósitos   | 113 |
| Figura 5.12 | Formação do painel em Sandwich   | 114 |
| Figura 5.13 | Equipamento de análise de permeabilidade ao ar   | 115 |
| Figura 5.14 | Gráfico de resultados de permeabilidade ao ar  |     |

|             |  |     |
|-------------|--|-----|
|             | entre as amostras  | 118 |
| Figura 5.15 | Propriedades térmicas para painéis de material compósito sem fibras de vidro | 123 |
| Figura 5.16 | Propriedades térmicas para painéis de material compósito com fibras de vidro | 124 |
| Figura 2.1  | Identificação de plásticos[5]  | 26  |
| Figura 2.2  | Esquema de produção de fibras termoplásticas[7]                              | 28  |

## ÍNDICE DE QUADROS

|             |  |    |
|-------------|--|----|
| Quadro 2. 1 | Coeficientes de condutibilidade térmica. [1]                               | 14 |
| Quadro 2. 2 | Dados económicos Português referentes a cadeia têxtil.[3]                  | 18 |
| Quadro 2. 3 | Dados económicos Português referentes a cadeia têxtil.[3]                  | 19 |
| Quadro 2. 4 | Identificação de plásticos através do teste da queima.[6]                  | 27 |
| Quadro 2. 5 | Identificação do ponto de fusão de alguns polímeros termoplásticos.[8]     | 29 |
| Quadro 2.6  | Consumo mundial de PET para fabricação de embalagens.[10]                  | 32 |
| Quadro 3. 1 | Composição dos desperdícios  | 52 |
| Quadro 3.2  | Caracterização das fibras que compõe o aglomerado de fibras PET            | 53 |
| Quadro 3.3  | As características físicas das fibras de vidro são identificadas no quadro | 53 |
| Quadro 3.4  | Identificação da amostra 90RE10PET   | 55 |
| Quadro 3.5  | Identificação da amostra 80RE20PET   | 55 |
| Quadro 3.6  | Identificação da amostra A1F   | 55 |

|             |   |    |
|-------------|---|----|
| Quadro 3.7  | Identificação da amostra A2FG   | 56 |
| Quadro 3.8  | Identificação da amostra A3FG   | 56 |
| Quadro 3.9  | Ajustes normais da linha para a produção de um não tecido   | 56 |
| Quadro 3.10 | Ajustes não convencionais da linha para a produção de um não tecido pouco coeso                               | 57 |
| Quadro 3.11 | Caracterização dos não-tecido   | 61 |
| Quadro 3.12 | Resultados estatísticos do ensaio referentes a corpo de prova – sentido contrário a saída da máquina – Cross, | 67 |
| Quadro 3.13 | Resultados estatísticos do ensaios dos corpos de prova retirados no sentido da saída da máquina               | 67 |
| Quadro 3.14 | Os pontos máximos de resistência a tracção estão demonstrado no quadro  | 67 |
| Quadro 3.15 | Ensaio de resistência a tracção para a amostra 90RE10PET  | 69 |
| Quadro 3.16 | Valores máximos para ponto de tracção e alongamento   | 70 |
| Quadro 3.17 | Resultados de testes – mac A1FG   | 70 |
| Quadro 3.18 | Máximo de tracção e alongamento A1FG  | 71 |

|             |  |     |
|-------------|--|-----|
| Quadro 3.19 | Pontos máximos de tracção A2FG mac                       | 72  |
| Quadro 3.20 | Pontos máximos de tracção cross para amostra A2FG        | 72  |
| Quadro 3.21 | Dados estatísticos para amostra sentido mac A2FG         | 73  |
| Quadro 3.22 | Dados estatísticos para amostra sentido cross A2FG.      | 74  |
| Quadro 3.23 | Pontos máximos de tracção para amostra A2FG              | 74  |
| Quadro 3.24 | Resultados estatísticos para amostra A3FG sentido mac    | 75  |
| Quadro 3.25 | Resultados estatísticos para amostra A3FG sentido cross. | 76  |
| Quadro 3.26 | Pontos máximos de tracção para amostra A3FG              | 76  |
| Quadro 3.27 | Propriedades térmicas para as amostras de não tecido     | 81  |
| Quadro 3.28 | Resultados médios das amostras de não tecidos            | 82  |
| Quadro 5.1  | Densidade dos corpos de teste - Compósitos               | 100 |
| Quadro 5.2  | Resultados para ensaio de tracção para amostra 90RE10PET | 102 |
| Quadro 5.3  | Pontos máximos do ensaio para amostra 90RE10PET          | 103 |
| Quadro 5.4  | Resultados para ensaio de tracção para amostra A1FG      | 104 |

|             |  |     |
|-------------|--|-----|
| Quadro 5.5  | Resultados para ensaio de tracção para amostra A2FG                                      | 105 |
| Quadro 5.6  | Resultados para ensaio de tracção para amostra A3FG                                      | 108 |
| Quadro 5.7  | Dados dos corpos de testes para permeabilidade ao ar                                     | 116 |
| Quadro 5.8  | Dados de propriedades térmicas obtidos para as amostras e formas de montagens de painéis | 120 |
| Quadro 5.9  | Dados estatísticos para as amostras de material compósito                                | 121 |
| Quadro 2. 1 | Dados económicos Português referentes a cadeia têxtil.[3]                                | 15  |
| Quadro 2. 2 | Dados económicos Português referentes a cadeia têxtil.[3]                                | 20  |
| Quadro 2. 3 | Identificação de plásticos através do teste da queima.[6]                                | 21  |
| Quadro 2. 4 | Identificação do ponto de fusão de alguns polímeros termoplásticos.[8]                   | 29  |
| Quadro 2.5  | Consumo mundial de PET para fabricação de embalagens.[10]                                | 31  |
| Quadro 2.6  | Consumo mundial de PET para fabricação de embalagens[10]                                 | 34  |
| Quadro 3. 1 | Composição dos desperdícios  | 55  |
| Quadro 3.2  | Caracterização das fibras que compõe o aglomerado de fibras PET                          | 56  |

|             |   |    |
|-------------|---|----|
| Quadro 3.3  | As características físicas das fibras de vidro são identificadas no quadro                                    | 56 |
| Quadro 3.4  | Identificação da amostra 90RE10PET  | 58 |
| Quadro 3.5  | Identificação da amostra 80RE20PET  | 58 |
| Quadro 3.6  | Identificação da amostra A1F  | 58 |
| Quadro 3.7  | Identificação da amostra A2FG   | 59 |
| Quadro 3.8  | Identificação da amostra A3FG   | 59 |
| Quadro 3.9  | Ajustes normais da linha para a produção de um não tecido   | 60 |
| Quadro 3.10 | Ajustes não convencionais da linha para a produção de um não tecido pouco coeso                               | 60 |
| Quadro 3.11 | Caracterização dos não-tecido   | 64 |
| Quadro 3.12 | Resultados estatísticos do ensaio referentes a corpo de prova – sentido contrário a saída da máquina – Cross, | 69 |
| Quadro 3.13 | Resultados estatísticos do ensaios dos corpos de prova retirados no sentido da saída da máquina               | 70 |
| Quadro 3.14 | Os pontos máximos de resistência a tracção estão demonstrado no quadro  | 70 |



|             |  |    |
|-------------|--|----|
| Quadro 3.15 | Ensaio de resistência a tracção para a amostra 90RE10PET | 72 |
| Quadro 3.16 | Valores máximos para ponto de tracção e alongamento      | 72 |
| Quadro 3.17 | Resultados de testes – mac A1FG                          |    |
| Quadro 3.18 | Máximo de tracção e alongamento A1FG                     | 74 |
| Quadro 3.19 | Pontos máximos de tracção A2FG mac                       | 74 |
| Quadro 3.20 | Pontos máximos de tracção cross para amostra A2FG        | 74 |
| Quadro 3.21 | Dados estatísticos para amostra sentido mac A2FG         | 76 |
| Quadro 3.22 | Dados estatísticos para amostra sentido cross A2FG.      | 76 |
| Quadro 3.23 | Pontos máximos de tracção para amostra A2FG              | 76 |
| Quadro 3.24 | Resultados estatísticos para amostra A3FG sentido mac    | 77 |
| Quadro 3.25 | Resultados estatísticos para amostra A3FG sentido cross. | 78 |
| Quadro 3.26 | Pontos máximos de tracção para amostra A3FG              | 78 |
| Quadro 3.27 | Propriedades térmicas para as amostras de não tecido     | 83 |
| Quadro 3.28 | Resultados médios das amostras de não tecidos            | 84 |

|            |  |     |
|------------|--|-----|
| Quadro 5.1 | Densidade dos corpos de teste - Compósitos   | 102 |
| Quadro 5.2 | Resultados para ensaio de tracção para amostra 90RE10PET                                 | 104 |
| Quadro 5.3 | Pontos máximos do ensaio para amostra 90RE10PET  | 105 |
| Quadro 5.4 | Resultados para ensaio de tracção para amostra A1FG                                      | 106 |
| Quadro 5.5 | Resultados para ensaio de tracção para amostra A2FG                                      | 107 |
| Quadro 5.6 | Resultados para ensaio de tracção para amostra A3FG                                      | 109 |
| Quadro 5.7 | Dados dos corpos de testes para permeabilidade ao ar                                     | 117 |
| Quadro 5.8 | Dados de propriedades térmicas obtidos para as amostras e formas de montagens de painéis | 121 |
| Quadro 5.9 | Dados estatísticos para as amostras de material compósito                                | 122 |

## ÍNDICE DE EQUAÇÕES

|         |           |     |
|---------|-----------|-----|
| Equação | eq. (01)  | 11  |
| Equação | eq. (02)  | 13  |
| Equação | eq. ( 03) | 70  |
| Equação | eq. ( 04) | 83  |
| Equação | eq. ( 05) | 100 |

## RESUMO

### **Desenvolvimento de um eco-compósito moldado composto de fibras recicladas celulósicas e termoplásticas.**

Após a segunda grande guerra mundial, as nações precisavam, de incentivar o consumo, para promoverem o desenvolvimento, tendo em evidência as economias. Deste então, a doutrina do consumismo exacerbado se instalou-se em praticamente todas as culturas que compõe o globo. Esse ciclo em que a sociedade contemporânea está inserida consiste no consumir para se produzir, e a produção deve ser cada vez mais eficiente para eliminar custos e se expandir, dominar e ampliar mercados cada vez mais. A que custo afinal? A visão imediatista do lucro, da expansão de mercado já não é suficiente. O consumo gera resíduos, a produção gera resíduos. Há tempos atrás pessoas preocupadas com o caminho, que esse ritmo frenético levaria, começaram a questionar-se. Essas pessoas conhecidas como "*eco-friendly*", procuraram e continuam numa luta árdua em busca de soluções para esses "resíduos" gerados pela sociedade. No entanto, da necessidade premente de soluções, a mesma sociedade passou a focar-se neste assunto como "moda". A consciência de que o ser humano faz parte do meio em que vive, que ele não o domina, mas está inserido nele, fez-no desenvolver esse trabalho presente trabalho foca a reutilização de resíduos e desperdícios gerados pela indústria de confecções, na forma de fibras, e a reutilização de fibras termoplásticas oriundas da reciclagem de garrafas de Poli(Tereftalato de Etileno) – PET. O objectivo deste desse trabalho é desenvolver um protótipo com base num manto de não tecido, produzido com as fibras recicladas mencionadas, e ainda o estudo da adição de fibras de vidro para análise do desempenho. O produto final, deu origem a painéis cuja aplicação inicial se destina a isolamento térmico em residências. O compósito produzido foi submetido a diferentes ensaios, com o objectivo de avaliar as suas propriedades para a aplicação que se destina. Os resultados demonstram que os materiais compósitos apresentam um bom potencial de aplicação.

**Palavras-chave:** materiais eco-compósitos; desperdícios de fibras; reciclagem de fibras; isolamento térmico.

## **ABSTRACT**

### **Development of an eco-molded composite made up of recycled cellulose fibers and thermoplastics.**

After the II World War, the nations needed to encourage the consumption for purpose to stimulate the development and their corresponding economies. Since then, the doctrine of exacerbated consumption was installed practically in all existing cultures in the world. This cycle, in which the contemporary society is embedded, consists in consuming to produce and the production must be every time more efficient to eliminate costs and to expands itself, dominating and expanding the markets even more. At what price after all? The vision of immediate profit, of the market expansion, is no longer enough. Consumption generates waste, production generates waste. Some time ago, people worried about the way which this frenetic rhythm could bring to, had started to ask themselves. These people, known as "eco-friendly", searched and continued a hard struggle in searching for the solutions for these "wastes", generated by the society. In times of urgent necessity of solutions, happened that the same society focused at a thing like "fashion". The consciousness that the human being is a part of the environment in which lives, that doesn't dominate it, but is inserted in it, made us to develop this study. The present study concentrates in the re-use of wastes and garbages generated by garment industry, based on like fibres, and in the re-use of thermoplastic fibres from recycled PET- Poly (ethylene terephthalate) bottles. The purpose of this work is to develop a prototype based on a of non-woven, of recycled fibres, and also the study of addition of glass fibres for an analysis of performance. The final product led to panels which initial application is dedicated to thermal isolation in buildings. The produced composite was tested in order to evaluate its properties for the intended application. The results showed that the composite materials developed present have good potential for the application envisaged.

**Key Words**

eco-composite materials, waste fiber, recycled fiber, thermal insulation.

## **CAPÍTULO I - INTRODUÇÃO**

### **Enquadramento do Trabalho**

O conceito que sustentabilidade é a capacidade de um indivíduo, grupo de indivíduos ou empresas e aglomerados produtivos em geral; têm de manterem-se inseridos num determinado ambiente sem, contudo, impactar violentamente esse meio, pode-se entender como a capacidade de usar os recursos naturais e, de alguma forma, devolvê-los ao planeta através de práticas ou técnicas desenvolvidas para este fim.

A capacidade de inserção do ser humano num meio sustentável, o que ainda não ocorre, é vital.

A visão a curtíssimo prazo, do colapso de energia produzida por combustível de origem fóssil, excesso de resíduos e dejectos gerados pelas “ facilidades” e “necessidades” que o ser humano elegeu como ideal para uma vida confortável, torna premente a necessidade propostas e soluções, que ajudem a amenizar os impactos gerados pelos indivíduos no meio ambiente.

A motivação do trabalho em questão está baseada em duas premissas fundamentais;

- A preocupação com o impacto social e ambiental gerada pelos resíduos descartados pela sociedade e a;
- A necessidade de um consumo energético reduzido sem no entanto por em causa a qualidade de vida a que a população está habituada. O cuidado com os valores energéticos, a preocupação com a deposição de resíduos, a real consciência e aplicação de esforços na busca e resolução, dos problemas existentes.



Propõe-se no desenvolvimento deste trabalho, uma alternativa, que possa aliar essas duas vertentes. A utilização de fibras poliméricas celulósicas que provem da reciclagem de resíduos (ou desperdícios das indústrias de confecções) têxteis e resíduos de polímeros termoplásticos, nomeadamente neste trabalho o Polietileno Tereftalato (PET), oriundos da reciclagem de embalagens plásticas. Neste contexto, o tema vai de encontro as necessidades humanas, pois além de ser um mercado em constante crescimento, o de consumo energético, o uso consciente da mesma é vital. O aumento da consciência do uso racional de energia, consumo consciente das energias não renováveis, reaproveitamento dos desperdícios e dos produtos manufacturados e que ainda tem potencial de reprocesso, tendo em vista que esse materiais reprocessados consumiram energia quando produzidos e podem ainda terem sua vida útil de alguma forma aumentada.

Resulta ainda há o impacto ambiental social, pois pode obter-se uma diminuição destes resíduos no meio ambiente, o que tem consequência directa na preservação e manutenção de ecossistemas como os rios, solo e lençóis freáticos, a fauna e flora, como um todo.

Um empreendimento, um produto, uma atitude sustentável, devolve ao meio ambiente todo ou parte dos recursos que processou e garante uma boa qualidade de vida às populações.

O ideal de sustentabilidade total, onde toda a influência provocada, por um agrupamento humano ou empreendimentos; é anulado através dos procedimentos adoptados ainda são muito difíceis.

Mesmo assim, é importante ter em mente que adoptar as práticas que transformem a nossa presença em determinado lugar o mais sustentável possível é a única saída para determos a degradação ambiental que se tem experimentado nos últimos anos e as graves alterações climáticas que se têm causado grandes desastres em diversas partes do planeta.

É necessário entender o que é sustentabilidade. É muito importante entender e saber que a adoção de práticas sustentáveis na vida de cada indivíduo é um factor decisivo para possibilitar a sobrevivência da raça humana e a continuidade da disponibilidade dos recursos naturais.

Acções aparentemente simples e de pouco impacto, quando tomadas por um grande número de pessoas, tornarão a sustentabilidade uma realidade palpável e real em qualquer parte onde haja a presença humana e garantirá a sobrevivência de nossa espécie por mais tempo.

## **1.2 Justificação do Trabalho**

Os desperdícios gerados pelas indústrias de confecções, por mais eficientes que sejam, mesmos que se determine a quantidade exacta de matéria prima a ser cortada, que tenha um processo de plano corte eficiente, nunca o encaixe, aproveitará 100% da matéria prima. A observação na mesa de estendido, do aproveitamento eficiente do encaixe dos moldes, e a execução cuidadosa do corte das peças, ainda assim revelam perdas de tecido que podem alcançar 20% do total da matéria-prima, um valor muito representativo no custo do produto final. Resta assim o repasse para o produto acabado dos custos gerados pela descarte e o desperdício, o próprio resíduo. Estes são frequentemente depositados de forma inadequada em aterros sanitários, aumentando o volume de massa a ser decomposta e diminuindo a capacidade ou vida útil desses depósitos. Estes “desperdício”, que utilizou energia no seu processamento, se for observado o processo inteiro até a sua deposição em um aterro, qual o valor financeiro depositado junto?

Cálculos aproximados baseados nos dados estatísticos de fabricação de vestuários em Portugal somados no ano de 2007, e chegam a soma de 1 984 508 797 de Euros.<sup>[24]</sup>

Adoptemos como base para cálculo todas essas empresas e hipoteticamente falando que fossem eficientes em todo seu processo trabalhando com uma margem aproximada de 10% de perdas no corte

Sendo que 10 % desse total chega a monta de 198 450 879,70 de euros, isto seria aproximadamente o valor que seria descartado ou foi descartado em desperdícios de matéria-prima

Analisando se a produção de embalagens PET, a produção mundial só tende a aumentar Sendo que 432 000 Toneladas foram produzidas no ano de 2007 <sup>[25]</sup>.

Este trabalho se justifica pelos seguintes efeitos:

- 1- O custo do consumo energético, a necessidade do seu uso racional, o aumento crescente da mesma.
- 2- A regulamentação RCCTE, onde se determina a efectiva diminuição do consumo energético com climatização.
- 3- A necessidade da redução dos valores finais ao consumidor dos isolantes térmicos.

Este trabalho que resumidamente se configura no estudo e desenvolvimento de um eco-compósito que utiliza como matéria-prima, resíduos fibrosos provenientes de desperdícios e/ou recicladas, na sua produção.

### 1.3. Objectivos

O presente trabalho tem como objectivo principal o desenvolvimento de um material eco-compósito utilizando resíduos da indústria de confecção, fibras, e materiais termoplásticos obtidos a partir da reciclagem de garrafas de Poli (tereftalato de Etileno) – PET.

O trabalho prevê o desenvolvimento de um método de produção procurando o desenvolvimento do produto em questão.

Produto este que pretende-se seja orientado para uso com isolamento térmico em construções civis.

### 1.4. Metodologia Adoptada

A metodologia adoptada para o trabalho consiste nas seguintes fases:

- **Pesquisa bibliográfica (estado da arte).**

Análise crítica do estado da arte sobre a confecção e aplicação de compósitos produzidos a partir de resíduos e desperdícios de fibras que passam pelo processo de reaproveitamento, sendo a sua aplicação orientada para isolamentos, nomeadamente, térmico.

- **Produção do não-tecido.**

Preparação dos não tecidos que irão servir de base à produção do compósito.

- **Avaliação das propriedades mecânicas.**

Avaliação das propriedades mecânicas do não-tecido, nomeadamente, o comportamento térmico e resistência a tracção.

- **Produção dos compósitos.**

Utilização de pressão e calor em determinadas proporções, para que o compósito se forme, tomando o desenho de uma forma pré determinada. Análise do processo, no que diz respeito a caracterização básica do compósito.

- **Avaliação das propriedades mecânicas.**

Verificar e analisar o processo de conversão do Não-tecido num compósito. Avaliar as propriedades mecânicas do compósito, nomeadamente, o comportamento térmico e resistência a tracção.

- **Comparação entre as características do não-tecido e compósito.**

Verificar e analisar a influência das propriedades mecânicas que as diferentes fases do processo não-tecido/compósito apresentam.

## 1.5. Estrutura da tese

A estrutura desta tese consta de seis capítulos, incluindo a introdução, as conclusões e perspectivas futuras e as referências bibliográficas, sendo organizada de acordo com os objectivos pretendidos.

Apresenta-se a seguir um resumo para cada capítulo:

- **Capítulo I – Introdução**

No Capítulo I apresentam-se os objectivos a atingir com o trabalho desenvolvido, a

Metodologia adotada, a justificação da necessidade da realização deste trabalho e a estrutura de tese.

## • **Capítulo II – Pesquisa Bibliográfica: estado da arte**

Descreve-se, de forma resumida e actualizada, o resultado da pesquisa bibliográfica sobre dados estatísticos de produção da cadeia têxtil, de produção e descarte de garrafas produzidas a partir de Poli (tereftalato de Etileno) – PET, processos têxteis, têxteis técnicos, compósitos e toda o embasamento teórico necessário para o desenvolvimento desse trabalho.

## • **Capítulo III – Materiais e processos**

Neste Capítulo, descreve-se todo o desenvolvimento experimental efectuado sobre os não-tecidos, apresentam-se os equipamentos utilizados, faz-se uma caracterização das composições das mantas e uma análise dos resultados obtidos.

## • **Capítulo IV – Desenvolvimento do Eco-compósito**

Apresentam-se os métodos de produção, os ensaios utilizados para a análise das propriedades físicas avaliadas nas várias proporções de misturas fibrosas, que compõem os compósitos. modelos de montagens dos painéis compósitos desenvolvidos seguidos da sua análise comparativa e uma discussão a respeito dos resultados alcançados.

## • **Capítulo V – Conclusões e perspectivas futuras**

Finalmente, no Capítulo V são apresentadas as conclusões obtidas com o trabalho realizado, apontando-se, igualmente, o caminho a seguir futuramente na ampliação dos estudos e aplicações do material inicialmente proposto .

#### • Referências Bibliográficas

Contém as fontes das referências bibliográficas utilizadas para o desenvolvimento do trabalho.

## **CAPÍTULO II - ESTADO DA ARTE**

### **2.1 Utilização racional de energia**

o modelo de desenvolvimento baseado em consumo de combustível fóssil – Petróleo – está com os dias contados.

Segundo a Agência Internacional de Energia, mantendo -se o consumo actual de energia em 2050 a temperatura global do planeta terá aumentado 6 graus centígrados.

A nível europeu a directiva nº 2006/32/CE, do Parlamento e do Conselho de 5 de Abril, relativa à eficiência na utilização final de energia e aos serviços energéticos estabeleceu a obrigação de os Estados Membros publicarem um plano que tenha como objectivo a poupança de pelo menos 1% de energia por ano até 2016.<sup>[1]</sup>

#### **2.1.1 RCCTE - Regulamento das Características de Comportamento Térmico de Edifícios**

O Regulamento das Características de Comportamento Térmico de Edifícios (RCCTE, DL 80/2006) impõe novas exigências no que se refere à qualidade dos edifícios, nomeadamente ao nível de isolamento térmico das fachadas.<sup>[1]</sup>

Isolamento excessivo leva a um consumo menor de energia mas requer um custo inicial mais elevado. Contrariamente falta de isolamento leva a um consumo maior de energia mas com um investimento inicial mais baixo.

#### **2.1.2 Regulamento energético para os novos edifícios de habitação com sistemas de climatização**

O Artigo 11.º (RCCTE, DL 80/2006), mostra que:



1— Os novos edifícios de habitação abrangidos pelo presente Regulamento, conforme o disposto no n.º 1 do artigo 2º, não podem ultrapassar necessidades nominais específicas, baseadas em padrões de utilização típicos, correspondentes a 80% das necessidades nominais de energia máximas permitidas pelo RCCTE, quer para o aquecimento, quer para o arrefecimento. <sup>[2]</sup>

2— Ficam também sujeitas aos requisitos definidos no número anterior todas as grandes intervenções de reabilitação de edifícios de habitação, ou de cada uma das suas fracções autónomas, com sistemas de climatização. <sup>[2]</sup>

### **2.1.3 Consumo energético em Portugal no ano de 2007**

Segundo o Instituto de Estatística de Portugal, verifica-se que o produto mais vendido em Portugal no ano de 2007, que são os dados mais recentes editados, foi a “Electricidade”, com 2 569 milhões de euros, ultrapassando os “Gasóleos e *marine diesel*”, com 2 455 milhões de euros, que havia sido o principal produto vendido em 2006. <sup>[2]</sup>

### **2.1.4 Perda de calor pela envolvente de um edifício**

A perda de calor de um edifício acontece maioritariamente a partir das paredes externas, tecto, janelas, pavimento e por infiltração de ar. A perda de calor de uma superfície por unidade de área pode ser calculada a partir da seguinte fórmula:

$$q=U(T_b-T_o) \dots\dots\dots (eq. 01)$$

Onde  $U$  é o coeficiente de transmissão de calor,  $T_b$  é a temperatura de referência interior e  $T_o$  é a temperatura média diária exterior e sua unidade de referência é expressa como  $(W/m^2K)$ .<sup>[3]</sup>

## 2.2 Diminuição do coeficiente global de transmissão térmica

O coeficiente global de transferência de calor pode ser diminuído, aumentando a espessura das paredes do edifício. Contudo a tendência actual é contrária a este princípio, porque as pequenas espessuras permitem obter espaços interiores de maiores dimensões, a um custo inferior, embora com prejuízo da inércia térmica da envolvente do edifício, que é um factor importante durante o período de Verão e de Inverno com uma utilização racional de energia térmica; empregando materiais de baixa condutibilidade térmica, é possível igualmente diminuir o valor de  $U$ . Um tijolo perfurado é termicamente mais eficiente do que um tijolo maciço, sendo este mais eficiente do que o betão.

Uma lâmina de ar (caixa de ar) faz diminuir consideravelmente o valor de  $U$ . Uma parede de tijolo maciço de 22 cm de espessura, tem sensivelmente um valor de  $U$  de  $2.25 W/m^2 \cdot ^\circ C$ . Uma parede constituída por duas fiadas de tijolo maciço de 11 cm de espessura, separadas por uma caixa de ar de 3 cm de espessura, faz diminuir o valor de  $U$  para cerca de  $1.65 W/m^2 \cdot ^\circ C$  isto é, a interposição de uma caixa de ar tem como resultado a transmissão de menos 25% de energia térmica.  
[3]

Deve referir-se que a caixa-de-ar é tanto mais eficiente quanto menos espessura tiver, de modo a evitar movimentos de convecção do ar no seu interior. Por outro

lado, uma espessura de 6 cm de isolamento térmico do tipo lã de vidro ou equivalente, colocado no interior de uma parede dupla de tijolo, faz diminuir o valor de U para cerca de 0.45 W/m<sup>2</sup>.°C.<sup>[2]</sup>

A condutibilidade térmica - é uma propriedade térmica típica de um material homogêneo que é igual à quantidade de calor por unidade de tempo que atravessa uma camada de espessura e de área unitárias desse material por unidade de diferença de temperatura entre as suas duas faces.

A condutibilidade térmica varia com a densidade, com o teor em humidade e com a temperatura do material. As unidades em que esta grandeza está expressa são W/m.°C ou W/m.°K.

Calor específico, c, que expressa a quantidade de calor necessária para elevar de um grau a temperatura de uma massa unitária do material. As unidades em que esta grandeza está expressa são J/kg.°C ou J/kg.°K.

Coeficiente Global de Transferência de Calor - U - (igual ao Coeficiente de Transmissão Térmica, K) e igual ao inverso da Resistência Térmica Total - Rt.

$$\frac{1}{U} = \frac{1}{h_e} + \sum_{i=1}^n \frac{e_i}{K_i} + \frac{1}{h_i} \quad (\text{eq. 02})$$

Sendo:

U - coeficiente global de transferência de calor (W/m<sup>2</sup>.°C)

$h_i$  e  $h_e$  - condutância térmica superficial interior e exterior, respectivamente, (traduz a soma das trocas por convecção e radiação entre o paramento e o fluido, por unidade de superfície e de diferença de temperatura) ( $W/m^2.^\circ C$ ).

O valor destas grandezas é fortemente condicionado pela parcela devida à convecção, a qual depende principalmente da diferença de temperatura entre o ambiente e o paramento, da rugosidade da superfície, da velocidade com que o fluido circula sobre a superfície e da orientação do sentido do fluxo

$e$  - espessura do elemento (m)

$K$  - condutibilidade térmica do material que constitui o elemento ou a camada ( $W/m.^\circ C$ ), depende das características do material (massa específica, porosidade, teor de humidade), sendo, em geral, elevada para materiais densos e crescendo com o teor de humidade para o mesmo material. <sup>[4]</sup>

**DESENVOLVIMENTO DE UM ECOCOMPÓSITO MOLDADO COMPOSTO DE FIBRAS RECICLADAS CELULÓSICAS E TERMOPLÁSTICA.**

No quadro 2.1 pode-se encontrar os coeficientes de condutibilidade térmica de alguns tipos de materiais.

| <b>Coeficientes de Condutibilidade Térmica</b> | <b>K (Kcal / h * m* °C)</b> |
|--|-----------------------------|
| Material                                       |                             |
| Água (Parada)                                  | 0,5                         |
| Algodão  | 0,047                       |
| Alumínio                                       | 175                         |
| Amianto  | 0,17                        |
| Bloco de Vidro                                 | 0,39                        |
| Bronze   | 55                          |
| Cerâmica                                       | 0,4                         |
| Chumbo   | 30                          |
| Concreto Armado                                | 1,3                         |
| Ferro  | 40                          |
| Fibra de Vidro                                 | 0,2                         |
| Gesso  | 0,4                         |
| Isopor   | 0,025                       |
| Lã de Vidro (densidade 20 Kg/m3)               | 0,03                        |
| Papelão  | 0,089                       |
| Poliuretano                                    | 0,02                        |
| Tijolo Furado                                  | 0,35                        |
| Tijolo Maciço                                  | 0,7                         |
| Zinco  | 96                          |

Quadro 2.1 - Coeficientes de condutibilidade térmica. [1]

## 2.3. A indústria de moda

A indústria de moda, como a conhecemos hoje, nasceu por volta de 1945, quando nos Estados Unidos surgiu o *ready to wear* (pronto para vestir), uma nova maneira de produção em escala industrial – roupas de um mesmo modelo, com variação de cores e graduação, além do uso de acabamentos de moda. Em 1946 os franceses se apropriaram da idéia americana e transformaram o *ready to wear* em *prêt-à-porter*.

Desde então a evolução não parou e há algum tempo a moda tem sido vista como um mercado crescente e grande gerador de riquezas e não mais como sinônimo de “futilidade”. Em alguns países, a riqueza gerada pela indústria de moda e afins representa uma parcela muitíssimo significativa no PIB, como é o caso da França e da Itália.

Esta indústria, que cresce a cada dia e sobrevive graças ao esforço de inúmeros colaboradores passa por etapas distintas e, cada parte desta gigantesca engrenagem, por menor que possa parecer, tem importância vital para sua continuidade.

### 2.3.1 Aspectos tecnológicos do sector da confecção

O processo produtivo da indústria de confecções é composto das seguintes etapas:

- \* Criação,
- \* Modelagem,
- \* Estendida,

- \* Corte,
- \* Montagem ou costura,
- \* Acabamento e
- \* Passadoria,

Sendo a penúltima fase a responsável por 80% do processo produtivo. <sup>[5]</sup>

No plano mundial pode-se encontrar duas categorias de indústrias de confecções, dependendo do seu grau de desenvolvimento tecnológico. De um lado estão aquelas situadas nos países onde os custos com mão-de-obra são baixos, em relação ao resto do mundo. Nestes países a introdução de novas tecnologias não é importante, pois sua principal vantagem competitiva é resultante dos baixos custos de produção. Do outro lado estão aquelas situadas nos países industrializados onde os custos com mão-de-obra são mais elevados, obrigando as empresas a introduzir inovações tanto no nível da produção, como também nas estratégias comerciais, para assim, preservarem sua competitividade.

Os principais motivos para esta estagnação, apesar do grande esforço feito nos países desenvolvidos, foram à falta de viabilidade técnica e económica para fabricar máquinas capazes de manusear os diversos tipos de tecido, como também realizar tarefas mais complexas como costuras em três dimensões.

É justamente na etapa de costura onde se concentraram os maiores esforços destes países com a intenção de reduzir os custos com mão-de-obra, que é responsável por 19% do custo total do produto, sendo superado apenas pelo custo com matéria prima que é de 52 %.<sup>[5]</sup>

Porém nenhuma inovação radical foi introduzida, observam-se apenas evoluções acumulativas da concepção inicial da máquina de costura.

### 2.3.2 O processo produtivo: Corte

O corte é o 1º processo da confecção em série. De acordo com a prospecção de vendas ou com pedidos já formalizados, determina-se a quantidade a ser talhada em cada lote. Cada tipo de tecido requer cuidados específicos na hora de talhar. Enquanto nas estendidas pares (mais comuns) segue-se um trabalho de vai-e-vem com o tecido/malha, as peças com alguns tipos de assimetria ou detalhes apenas de um lado (quando se deseja que o detalhe apareça sempre do mesmo lado) necessitam ser estendidas de forma ímpar, ou seja, cada camada vai até o final da mesa, é cortada e volta-se ao início da mesa para que se distribuía a camada seguinte com o mesmo lado do tecido voltado para cima. Nestes casos deve-se ter cuidado redobrado na hora de distribuir os moldes sobre a estendida, pois cada parte da peça deve aparecer tantas vezes quantas aparece no modelo, bem como o lado em que aparece o detalhe deve ser levado em consideração.

Hoje em dia, muitas empresas contam com processo de corte automatizado, onde se faz o encaixe dos moldes por computadores, interligados com mesas de corte dotadas de talhadeiras, que cortam o tecido automaticamente.

Por se tratar de equipamentos de alto valor, o mais usual continua sendo a corte manual, com corte de faca.

Importante o registro da necessidade de análise contínua do encaixe dos moldes na peça de tecido, principalmente nos casos de eficiência do risco abaixo de 80%.

[5]

Assim, a eficiência de risco pode aumentar consideravelmente e melhorar o aproveitamento do tecido.

A utilização de processos automatizados de estudos de encaixe dos moldes, aumenta a eficiência e diminui consideravelmente o desperdício de matéria-prima,



sendo ainda assim, esse percentual em torno de 10% do peso total da estendida.

[5]

## 2.4 Dados económicos portugueses referentes à cadeia têxtil

No que respeita à Prestação de Serviços por actividades, o maior valor foi registado na actividade 17300 - Acabamento de Têxteis (correspondendo a 11,4% do total dos serviços prestados), que se justifica pelas características próprias do sector que se centra na prestação de serviços às actividades a jusante, nomeadamente a 17100 – Preparação e Fiação de Fibras Têxteis e 17200 – Tecelagem de Têxteis, tal como se mostra no quadro 2.3. [6]

Divisão 17

| Fabricação de têxteis |   |                          |                  |                     |                   |                     |                       |
|-----------------------|---|--------------------------|------------------|---------------------|-------------------|---------------------|-----------------------|
| 2007                  |   |                          |                  |                     |                   |                     | Portugal              |
| CAE<br>Rev. 2.1       | Designação  | Unid.<br>Activ.<br>Econ. | Valor das Vendas |                     |                   |                     | Serviços<br>Prestados |
|                       |   |                          | Total            | Mercado<br>Nacional | União<br>Europeia | Países<br>Terceiros |                       |
|                       |   | nº                       | Euros            |                     |                   |                     |                       |
| 17                    |   | 916                      | 2 426 988 665    | 966 456 265         | 1 140 764 077     | 319 768 323         | 340 717 767           |
| 17100                 | Preparação e Fiação de Fibras Têxteis                               | 61                       | 270 035 614      | 184 970 150         | 63 394 858        | 21 670 606          | 17 306 794            |
| 17200                 | Tecelagem de Têxteis  | 77                       | 478 732 310      | 130 575 024         | 276 600 222       | 71 557 064          | 5 101 774             |
| 17300                 | Acabamento de Têxteis   | 127                      | 76 015 412       | 57 616 748          | 16 171 819        | 2 226 845           | 265 340 373           |
| 17400                 | Fabricação de Artigos Têxteis Confeccionados, excepto Vestuário     | 139                      | 557 759 726      | 120 675 969         | 315 471 112       | 121 612 645         | 6 379 608             |
| 17510                 | Fabricação de Tapetes e Carpetes                                    | 23                       | 76 355 613       | 17 400 098          | 43 029 736        | 15 925 779          | 1 893 018             |
| 17521                 | Fabricação de Cordoaria   | 9                        | 144 988 387      | 9 826 930           | 97 144 387        | 38 017 070          | 62 501                |
| 17522                 | Fabricação de Redes   | 9                        | 29 368 363       | 2 899 592           | 16 300 435        | 10 168 336          | 81 247                |
| 17530                 | Fabricação de Não Tecidos e Respectiveos Artigos, excepto Vestuário | 3                        | 9 751 567        | 6 213 430           | ...               | ...                 | 18 445                |
| 17541                 | Fabricação de Passamanarias e Srgarias                              | 35                       | 26 203 619       | 16 117 540          | 8 147 384         | 1 938 695           | 1 162 126             |
| 17542                 | Fabricação de Bordados  | 103                      | 18 450 373       | 15 307 485          | 2 041 213         | 1 101 675           | 17 287 179            |
| 17543                 | Fabricação de Rendas  | 3                        | 1 906 320        | 1 672 347           | ...               | ...                 | 0                     |
| 17544                 | Outras Indústrias Têxteis Diversas, n.e.                            | 61                       | 232 812 742      | 92 260 202          | 119 475 464       | 21 077 076          | 10 042 764            |
| 17600                 | Fabricação de Tecidos de Malha                                      | 85                       | 252 290 229      | 224 827 995         | 22 158 450        | 5 303 784           | 4 632 046             |
| 17710                 | Fabricação de Meias e Artigos Similares de Malha                    | 80                       | 134 237 401      | 39 877 353          | 89 679 623        | 4 680 425           | 6 311 163             |
| 17720                 | Fabricação de Pulôveres, Casacos e Artigos Similares de Malha       | 101                      | 118 180 989      | 46 210 402          | 67 517 516        | 4 453 071           | 5 098 729             |
| 175 n.e.              | Outras actividades do grupo n.e.                                    | 4                        | 0                | 0                   | 3 631 858         | 35 252              | 0                     |

Quadro 2. 2 - Dados económicos Portugueses referentes a cadeia têxtil.[3]

**DESENVOLVIMENTO DE UM ECOCOMPÓSITO MOLDADO COMPOSTO DE FIBRAS RECICLADAS CELULÓSICAS E TERMOPLÁSTICA.**

Os dados do quadro 2.4 complementam as informações a respeito da produção de confecções de vestuário pela indústria portuguesa.

**Divisão 18**

| Indústria do vestuário; preparação, tingimento e fabricação de artigos de peles com pêlo |  |                 |                  |                     |                   |                     |                       |
|--|--|-----------------|------------------|---------------------|-------------------|---------------------|-----------------------|
| 2007   |  |                 |                  |                     |                   |                     | Portugal              |
| CAE<br>Rev. 2.1  | Designação   | Unid.           | Valor das Vendas |                     |                   |                     | Serviços<br>Prestados |
|  |  | Activ.<br>Econ. | Total            | Mercado<br>Nacional | União<br>Europeia | Países<br>Terceiros |                       |
|  |  | nº              | Euros            |                     |                   |                     |                       |
| 18   |  | 1 467           | 1 976 548 856    | 524 863 386         | 1 360 178 750     | 91 506 720          | 282 019 177           |
| 18100  | Confecção de Artigos de Vestuário em Couro                         | 16              | 6 613 663        | 6 278 400           | ...               | ...                 | 611 339               |
| 18210  | Confecção de Vestuário de Trabalho e de Uniformes                  | 45              | 33 684 896       | 17 541 662          | 14 436 557        | 1 706 677           | 4 162 454             |
| 18220  | Confecção de Outro Vestuário Exterior                              | 627             | 691 511 246      | 241 031 846         | 417 759 054       | 32 720 346          | 198 131 415           |
| 18230  | Confecção de Vestuário Interior (inclui Camisas, Blusas, T-shirts) | 490             | 968 376 330      | 198 491 699         | 731 012 174       | 38 872 457          | 72 991 305            |
| 18240  | Confecção de Outros Artigos e Acessórios de Vestuário, n.e.        | 274             | 264 320 662      | 58 608 242          | 190 623 828       | 15 088 592          | 5 772 855             |
| 18301  | Curtimenta e Acabamento de Peles com Pêlo                          | 4               | 10 661 014       | ...                 | ...               | 3 028 217           | 42 434                |
| 18302  | Fabricação de Artigos de Peles com Pêlo                            | 11              | 1 181 045        | ...                 | 215 286           | ...                 | 307 235               |
| 18 n.e.  | Outras actividades da divisão n.e.                                 | 23              | 0                | 2 911 537           | 6 347 137         | 90 431              | 0                     |

**Quadro 2.3-** Dados económicos Portugueses referentes a cadeia têxtil.[3]

## 2.5 Polímeros

Os polímeros são macro moléculas caracterizadas pelo seu tamanho, a sua estrutura química e as interações intra e inter-moleculares. Possuem unidades químicas que são unidas por ligações covalentes, que se repetem ao longo da cadeia. Podem ser naturais, como a seda, a celulose, as fibras de algodão, etc., ou sintéticos, como o polipropileno (PP), o poli (tereftalato de etileno) (PET), o polietileno (PE), poli(cloreto de vinila) PVC, etc.<sup>[6-7]</sup> Os polímeros são classificados como termoplásticos (plásticos), termoendurecíveis, borrachas e fibras.<sup>[7]</sup>

O Termo plástico vem do grego, Plastikus, que significa material adequado a moldagem. Os plásticos são materiais que, embora sólidos à temperatura ambiente no seu estado final, quando aquecidos acima da temperatura de “amolecimento”, tornam-se fluidos e passíveis de serem moldados por acção isolada ou conjunta de calor e pressão<sup>[8]</sup>

Os termoplásticos são moldáveis a quente e possuem baixa, boa aparência, são isolantes térmicos e eléctricos, são resistentes ao impacto e possuem baixo custo, portanto, apresentam uma larga faixa de aplicações. Devido a essas propriedades o consumo de polímeros tem crescido no mundo<sup>[9]</sup>

O poliéster  $(C_{10}H_8O_4)_n$  é uma categoria de polímeros o qual contém o grupo funcional éster em sua cadeia principal. Os poliésteres existem na natureza, mesmo assim o seu nome é usado para se referir a produtos sintéticos, como o plástico. Destes sintéticos pode-se destacar o policarbonato e especialmente o politereftalato de etileno (PET).<sup>[9]</sup>

Actualmente, o maior canal de escoamento para PET recuperado é o mercado de fibras. No entanto, outras aplicações para o PET recuperados incluem folha, cintas e "garrafa de garrafa".

O mercado utiliza fibra recuperada PET em flocos em diferentes aplicações. Os flocos são derretidos e fiados, usados para a fabricação de estofos, tapetes, cobertores, sacos de dormir e peluches, são reciclados e produzidos fios e filamentos de títulos variados sendo utilizados para a fabricação tecidos para camisolas, casacos, etc. Outras aplicações das fibras incluem o fabrico de peças para veículos automóveis.

### **2.5.1 Reciclagem de polímeros**

O PET- Poli (Tereftalato de Etileno) e o PP- Polipropileno são os polímeros reciclados por um maior número de empresas recicladoras, e cerca da metade destas empresas reciclam de 20 até 50 ton/mês, poucos superam a faixa de 100 ton/mês.<sup>[10]</sup>

Entre as principais aplicações dos polímeros reciclados estão as utilidades domésticas. Os preços dos polímeros pós-consumo para reciclagem variam dependendo da oferta por região, das condições (sujo ou limpo, solto ou enfardado) e da origem (sucateiros, colecta selectiva, catadores, unidades de triagem). Embora muitos recicladores comercializem polímero reciclado na forma de granulado, a maioria deles transformam o polímero até obtenção do produto final.

Dentre os polímeros reciclados, o PET destaca-se pelo alto índice de reciclagem atingido em um curto período de existência.

No início dos anos 80 os EUA e o Canadá reciclavam o PET para fazer enchimento de almofadas, posteriormente, com a melhora na qualidade do PET reciclado, surgiram aplicações importantes, como tecidos e recipientes para produtos não alimentícios. Na década de 90 o governo americano autorizou o uso

do material reciclado em embalagens multicamadas para alimentos onde o material reciclado não tem contacto com o alimento, pois fica na camada intermédia. Actualmente, nos EUA e em alguns países da Europa é permitida a utilização de PET reciclado para a confecção de embalagens monocamadas que têm contacto directo com alimentos. Para este fim foram desenvolvidas tecnologias conhecidas como “*bottle-to-bottle*” que envolvem etapas de lavagem, descontaminação, cristalização, pós-condensação no estado sólido e extrusão do PET. Alguns dos processos patenteados são o *supercleaning*<sup>TM</sup>, *Hybrid UnPET*<sup>TM</sup>, *Supercycle*<sup>TM</sup> *Erema*<sup>TM</sup> entre outros.<sup>[10]</sup>

Portanto, os artefactos fabricados de polímeros reciclados têm limitações de aplicação, ou seja, não podem ser utilizados em contacto com bebidas, remédios, alimentos, brinquedos e material de uso hospitalar pois, dependendo do uso anterior, ele pode estar contaminado.

Visando reduzir o descarte dos polímeros reciclados é conveniente que estes sejam utilizados em aplicações de longa vida útil, como pavimentação, madeira plástica, construção civil, plasticultura, indústria automobilística e eletroeletrônica, etc.

### **2.5.2 Metodologias de reciclagem de polímeros**

A reciclagem de polímeros pode ser classificada em quatro categorias: primária, secundária, terciária e quaternária.

#### **2.5.2.1 Reciclagem primária**

Consiste na conversão dos resíduos poliméricos industriais por métodos de processamento padrão em produtos com características equivalentes às daquelas dos produtos originais produzidos com polímeros virgens; por exemplo, aparas que são novamente introduzidas no processamento.<sup>[10]</sup>

#### **2.5.2.2 Reciclagem secundária**

Conversão dos resíduos poliméricos provenientes dos resíduos sólidos urbanos por um processo ou uma combinação de processos em produtos que tenham menor exigência do que o produto obtido com polímero virgem, por exemplo, reciclagem de embalagens de PP para obtenção de sacos de lixo.<sup>[10]</sup>

#### **2.5.2.3 Reciclagem terciária**

Processo tecnológico de produção de insumos químicos ou combustíveis a partir de resíduos poliméricos.<sup>[10]</sup>

#### **2.5.2.4 Reciclagem quaternária**

Trata-se do processo tecnológico de recuperação de energia de resíduos poliméricos por incineração controlada.

A reciclagem primária e a secundária são conhecidas como reciclagem mecânica ou física, o que diferencia uma da outra é que na primária utiliza-se polímero pós-industrial e na secundária, pós consumo.

A reciclagem terciária também é chamada de química e a quaternária de energética.<sup>[10]</sup>

#### **2.5.2.5 Reciclagem mecânica**

A reciclagem mecânica pode ser viabilizada através do reprocessamento por extrusão, injeção, termoformagem, moldagem por compressão, etc. Para este fim são necessários alguns procedimentos que incluem as seguintes etapas:

1) *separação do resíduo polimérico,*

2) *moagem,*

3) *lavagem,*

4) *secagem,*

5) *reprocessamento,* <sup>[10]</sup>

e, finalmente, a transformação do polímero em produto acabado. Existem variações nestas etapas devido à procedência e o tipo de polímero, além das diferenças de investimentos e equipamentos utilizados nas plantas de processamento. Não existem muitos detalhes sobre os processos industriais devido ao interesse económico das indústrias que actuam neste sector, que normalmente protegem seus procedimentos por patentes. Os esforços actuais estão direccionados no sentido de se obter um produto acabado obtido de polímero reciclado que possua propriedades o mais próximas possíveis do polímero virgem,

para serem empregados na confecção de materiais com aplicações mais nobres.

A etapa de separação é importante, pois através dela é necessário limitar as impurezas a níveis inferiores a 1%. A presença de macrocontaminantes, como vidro, papel, metal ou outros polímeros, mesmo em concentrações pequenas pode alterar as propriedades do polímero. Dependendo da forma de colecta, das necessidades do mercado ou do custo de mão-de-obra, a separação dos polímeros pode ser manual ou automatizada. A identificação dos polímeros é uma

medida importante para facilitar a separação dos mesmos e pode ser utilizada por todos os ramos da indústria de reciclagem de polímeros.

A separação dos polímeros pode ser feita através da identificação da simbologia contida no produto acabado.<sup>[11]</sup>

### **2.5.3 Identificação prática dos plásticos**

Todos os plásticos devem receber o símbolo do material com qual foram fabricados a fim de facilitar sua destinação final. Porém não é raro acontecer casos em que os materiais não apresentam o símbolo, e um factor que colabora para que isto ocorra se deve a algumas industrias não colocarem em seus produtos qual o tipo de resina usada no produto. É muito comum também que os materiais cheguem à recicladora aos pedaços, quando fica praticamente impossível determinar o tipo de resina com que o produto foi fabricado independentemente da experiência do operador ou profissional encarregado pela separação do material<sup>[12]</sup>

A figura 2.1 ilustra as numerações convencionadas para a identificação de polímeros destinados a reciclagem.



DESENVOLVIMENTO DE UM ECOCOMPÓSITO MOLDADO COMPOSTO DE FIBRAS RECICLADAS CELULÓSICAS E TERMOPLÁSTICA.

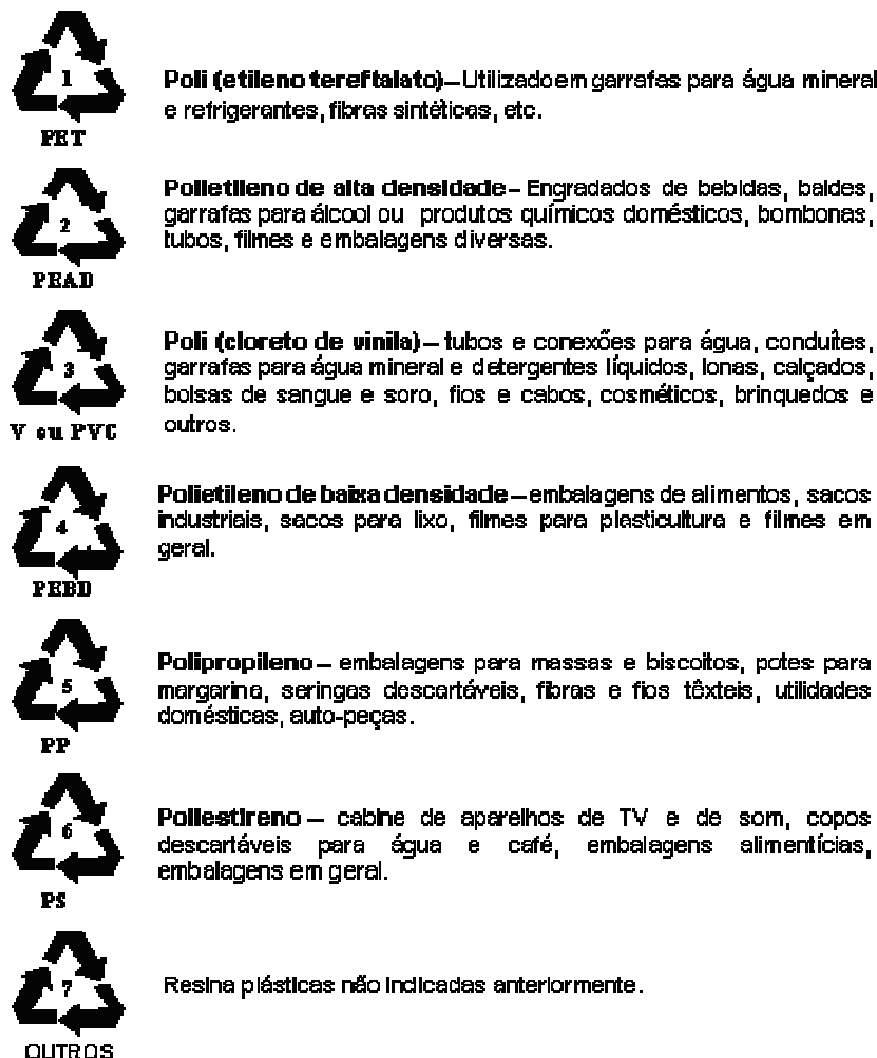


Figura 2.1 Identificação de plásticos[ 5]

**DESENVOLVIMENTO DE UM ECOCOMPÓSITO MOLDADO COMPOSTO DE FIBRAS RECICLADAS CELULÓSICAS E TERMOPLÁSTICA.**

Uma forma muito comum e prática de identificar o tipo de resina é através da queima do material. A identificação do polímero pode ser feita de forma relativamente simples com a utilização deste teste. Ao queimar o material pode-se observar algumas características sutis como o odor dos vapores de queima, aparência da chama, temperatura de fusão e solubilidade, os quais são baseados em suas características físicas e de degradação térmica, que são distintas.<sup>[13]</sup>

O quadro 2.4 – Define como identificar alguns plásticos através de métodos simples se observação quando submetida a queima.

| <b>Resina</b>                  | <b>Teste de Chama</b>                                | <b>Observação</b>      | <b>Odor</b>      | <b>Ponto de Fusão(°C)</b> | <b>Densidade</b> |
|--------------------------------|--|------------------------|------------------|---------------------------|------------------|
| Polietileno de baixa densidade | Chama Azul<br>Vértice amarelo                        | Pinga como vela        | Cheiro de vela   | 105                       | 0,89<br>0,93     |
| Polietileno de alta densidade  | Chama Azul<br>Vértice amarelo                        | Pinga como vela        | Cheiro de vela   | 130                       | 0,94<br>0,98     |
| Polipropileno                  | Chama amarela, crepita ao queimar, fumaça fuliginosa | Pinga como vela        | Cheiro Agressivo | 165                       | 0,85<br>0,92     |
| PET                            | Chama amarela, fumaça mas centelha                   | -                      | Manteiga rançosa | 180                       | 1,15<br>1,25     |
| PVC rígido                     | Chama amarela, vértice verde                         | Chama auto extingüível | -                | 127                       | 1,34<br>1,37     |
| PVC flexível                   | Chama amarela, vértice verde                         | Chama auto extingüível | Cheiro de cloro  | 150                       | 1,19<br>1,35     |
| Poliuretanos                   | Bastante fumaça                                      | -                      | Acre             | 230                       | 1,20<br>1,22     |

Quadro 2. 4 - Identificação de plásticos através do teste da queima.[6]

## 2.5.4 Esquema de produção de fibras sintéticas termoplásticas

A figura 2.2 ilustra o processo de produção de alguns tipos fibras de poliméricas têxteis.

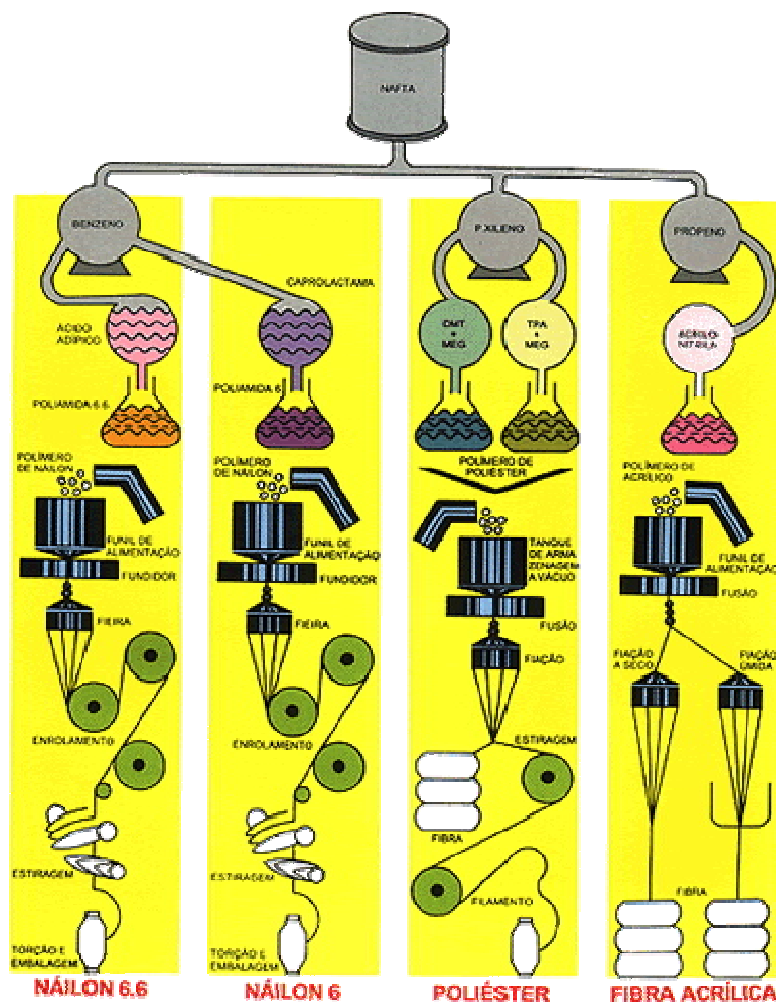


Figura 2.2 Esquema de produção de fibras termoplásticas[7]

A definição de temperaturas de ponto de fusão para alguns tipos de polímeros, bem como a temperatura de fusão para consórcio entre fibras, como por exemplo nylon 6 + 30% de fibra de vidro são identificadas no quadro que se segue.

DESENVOLVIMENTO DE UM ECOCOMPÓSITO MOLDADO COMPOSTO DE FIBRAS RECICLADAS CELULÓSICAS E TERMOPLÁSTICA.

O quadro 2.5 apresenta a temperaturas Típicas de pontos de fusão de alguns polímeros.

| Tipo de Polímero                          | Ponto de Fusão (°C) |
|---|---------------------|
| <i>ABS</i>                                | -                   |
| <i>ABS + 30% Glass Fiber</i>              | -                   |
| <i>Acetal Copolymer</i>                   | 200                 |
| <i>Acetal Copolymer + 30% Glass Fiber</i> | 200                 |
| <i>Acrylic</i>                            | 130                 |
| <i>Nylon 6</i>                            | 220                 |
| <i>Nylon 6 + 30% Glass Fiber</i>          | 220                 |
| <i>Polycarbonate</i>                      | -                   |
| <i>Polyethylene, HDPE</i>                 | 130                 |
| <i>Polyethylene Terephthalate (PET)</i>   | 250                 |
| <i>PET + 30% Glass Fiber</i>              | 250                 |
| <i>Polypropylene</i>                      | 160                 |
| <i>Polypropylene + 30% Glass Fiber</i>    | 170                 |
| <i>Polystyrene</i>                        | -                   |

**Quadro 2.5** Identificação do ponto de fusão de alguns polímeros termoplásticos.[8]

## 2.6 Poli (tereftalato de etileno) - PET

O Poli Tereftalato de Etileno (PET) é um poliéster, um polímero termoplástico, ou seja, é formado por cadeias independentes que depois de fundido e resfriado, assume uma estrutura semicristalina. São resistentes ao impacto, moldáveis a quente, possuem baixa densidade, boa aparência, isolantes térmicos e elétricos, e possuem baixo custo, apresentando larga faixa de aplicações. É um plástico resistente para fabricação de garrafas e embalagens para refrigerantes, águas, sucos, óleos comestíveis, medicamentos, cosméticos, produtos de higiene e limpeza, destilados, isotônicos e cervejas.

A primeira amostra desse material veio a público em 1941. As pesquisas para aplicação comercial se deram nos anos 1950, nos EUA e Europa e focaram aplicações têxteis. Em 1962, surgiu o primeiro poliéster pneumático. No início dos anos 1970, o PET passou a ser utilizado pela indústria de embalagens<sup>[14]</sup>

A figura 2.3 mostra a estrutura química do PET – Poli (Tereftalato de Etileno).

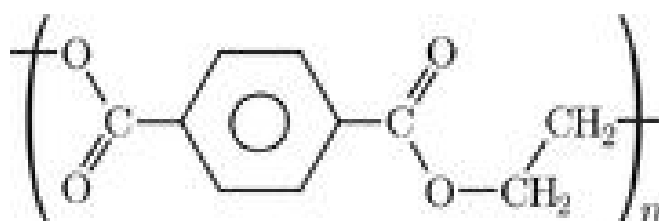


Figura 2.3 Estrutura química de um mero de Tereftalato de Etileno[9]

É um poliéster, polímero termoplástico. O PET proporciona alta resistência mecânica (impacto) e química, além de excelente barreira para gases e odores e peso muito menor que das embalagens tradicionais, mostrou-se o recipiente ideal para a indústria de bebidas de todo mundo, reduzindo custos de transporte e produção.<sup>[14]</sup>

### **2.6.1 História do PET**

A primeira amostra desse material foi desenvolvida pelos ingleses Whinfield e Dickson, em 1941. As pesquisas que levaram a produção em larga escala do poliéster começaram somente após a Segunda Grande Guerra, nos anos 50, em laboratórios dos EUA e Europa. Baseavam-se quase que totalmente, quase que totalmente, nas aplicações têxteis. Em 1962, surgiu o primeiro poliéster pneumático. No início dos anos 70, o PET começou a ser utilizado pela indústria de embalagens. Pode – se ver no quadro abaixo o aumento crescente do consumo de PET, para a produção de embalagens.<sup>[15]</sup>

O quadro 2.6 mostra informações sobre o consumo crescente a nível mundial de embalagens PET.

| Ano | Consumo para Embalagens |
|-----|-------------------------|
|-----|-------------------------|

|      |                   |
|------|-------------------|
| 1996 | 150.000 toneladas |
|------|-------------------|

|      |                   |
|------|-------------------|
| 1997 | 185.700 toneladas |
|------|-------------------|

|      |                   |
|------|-------------------|
| 1998 | 223.600 toneladas |
|------|-------------------|

|      |                   |
|------|-------------------|
| 1999 | 244.800 toneladas |
|------|-------------------|

|      |                   |
|------|-------------------|
| 2000 | 255.100 toneladas |
|------|-------------------|

|      |                   |
|------|-------------------|
| 2001 | 270.000 toneladas |
|------|-------------------|

|      |                   |
|------|-------------------|
| 2002 | 300.000 toneladas |
|------|-------------------|

|      |                   |
|------|-------------------|
| 2003 | 330.000 toneladas |
|------|-------------------|

|      |                   |
|------|-------------------|
| 2004 | 360.000 toneladas |
|------|-------------------|

|      |                   |
|------|-------------------|
| 2005 | 374.000 toneladas |
|------|-------------------|

|      |                   |
|------|-------------------|
| 2006 | 378.000 toneladas |
|------|-------------------|

|      |                   |
|------|-------------------|
| 2007 | 432.000 toneladas |
|------|-------------------|

**Quadro 2.6** Consumo mundial de PET para fabricação de embalagens[10]

## 2.7 PET na Europa

No início dos anos 80 foram introduzidas medidas relativas à gestão dos resíduos de embalagens. Directiva 85/339/CEE (que deixaram de entrar em vigor). A directiva no entanto foi bastante vaga e como consequência, apareceram legislação nacional divergente em vários estados membros.

Pode-se ver na figura o aumento crescente de reciclagem de PET pela Comunidade Europeia.<sup>[16]</sup>

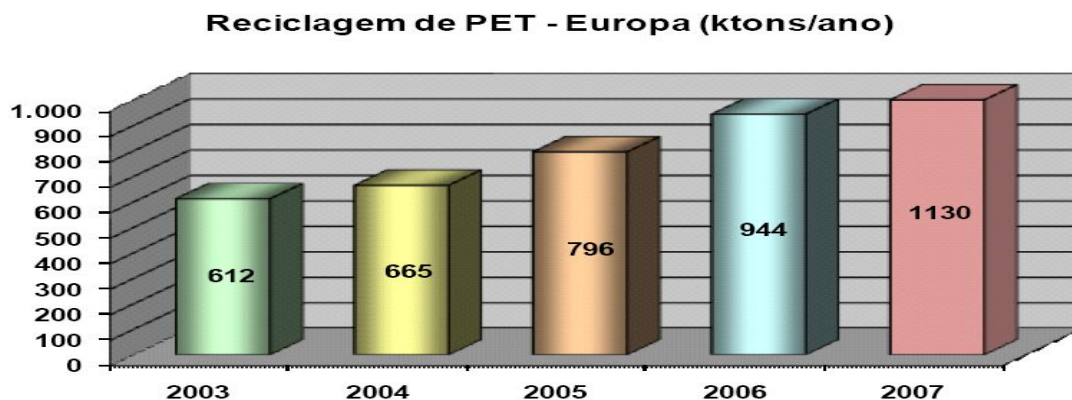


Figura 2.4 Dados de reciclagem toneladas de PET por ano na Europa [11]

Em 1992, a Comissão Europeia apresentou uma proposta ao Conselho da União Europeia, directiva relativa a embalagens e resíduos e, finalmente, em Dezembro de 1994, a Directiva 94/62/CE, foi aprovada. Em Dezembro de 2001, a Comissão Europeia apresentou uma proposta de revisão dos regulamentos referentes a embalagens e resíduos de embalagens. Depois de muitos debates entre o Conselho Europeu e o Parlamento Europeu, a proposta foi aprovada em Dezembro de 2003 e à Directiva embalagens foi finalmente alterada em Fevereiro de 2004. A directiva está agora prevista com o seguinte código: 2004/12/CE.<sup>[16]</sup>

O recolhimento de embalagens PET na Europa (Estados Membros da União Europeia mais a Noruega, Islândia, Suíça e Turquia) está em crescimento constante. Em 2004, 665.000 toneladas foram recolhidas. Estima-se que, até 2007, a recolha Europeia de PET tenha aumentado para mais de 900.000 toneladas<sup>[16]</sup>

As inúmeras aplicações que o PET se destina após reciclagem são apresentadas na figura 2.5.



## Aplicações do PET Reciclado - Europa - 2007

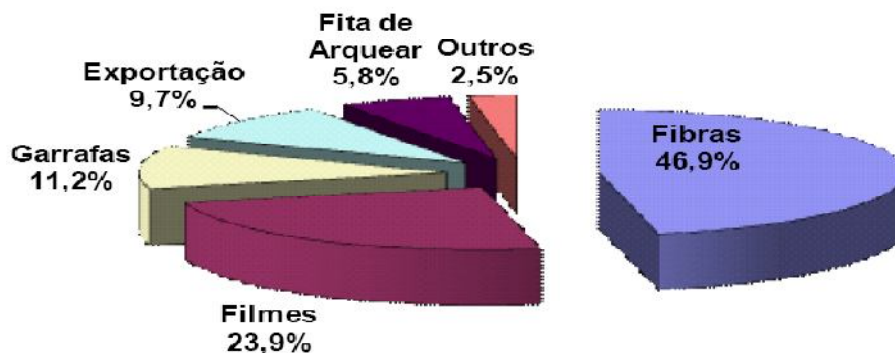


Figura 2.5 Dados de campos de aplicação toneladas de PET reciclado por ano na Europa.[11]

Os dados ilustrados na figura seguinte revelam que o interesse na reciclagem de PET, envolvem tantos os países do primeiro mundo, bem como os países emergentes.

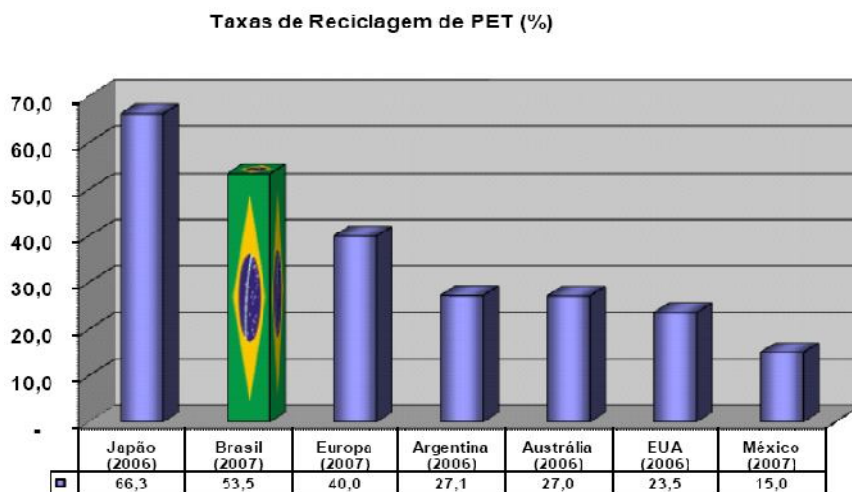


Figura 2.6 Dados estatísticos dos países que mais reciclagem toneladas de PET/ano [11]

Na figura 2.7 pode – se observar os campos de aplicação do termoplástico PET, após reciclagem, sendo que um pouco mais da metade é utilizado nas indústrias têxteis.

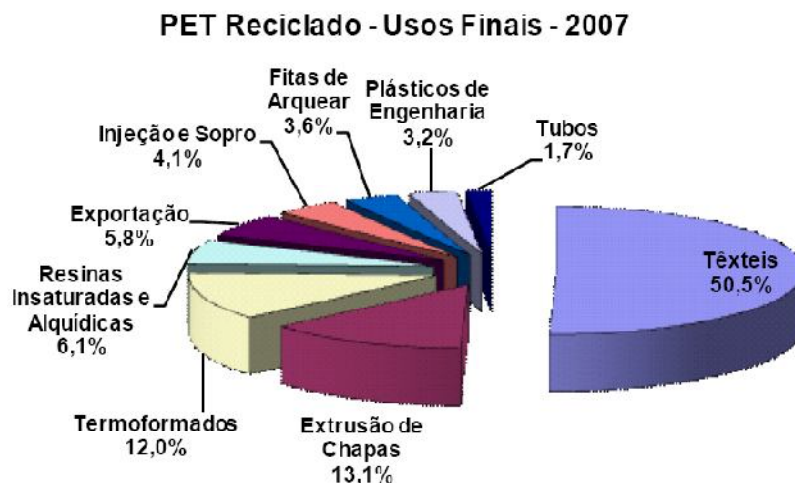


Figura 2.7 Dados de campos de aplicação para usos finais toneladas de PET reciclado [11]

## 2.8 Definição de têxteis técnicos

Os têxteis técnicos são definidos como produtos usados pela sua performance, pelas suas características funcionais para aplicações não dirigidas ao consumidor ou para aplicações industriais. A definição depende do uso final do produto e não no tipo de fio ou fibra usados. Os têxteis técnicos são desenvolvidos para desempenhar funções específicas de acordo com os requisitos de sua aplicação.

Os tecidos técnicos tal como definidos, incluem produtos com performance muito bem determinada, para fins técnicos específicos, visando praticidade, segurança, economia e durabilidade definida. São constituídos de fibras, fios ou filamentos sintéticos ou artificiais. Os tecidos técnicos têm como exemplos de aplicativos finais os *big-bags*, lonas arquitectónicas e de decoração, lonas de protecção para cargas, lonas para piscina infantil, aquicultura, cintos de segurança, filtros, compósitos para coletes e blindagem de veículos, barreiras infláveis e contentores de poluição marítima, *air bags*, roupas de segurança, esteiras e cintas de amarração e de elevação, e outros mais. Assim, os tecidos técnicos têm esta

denominação porque, necessariamente, possuem uma performance técnica definida e bem diferente da dos tecidos utilizados nos seguintes quatro segmentos: cama, mesa, banho e vestuário.

Os têxteis técnicos, acabados como cordas ou materiais impermeáveis e também componentes utilizados para fazer outros produtos, tais como telas para pneus e o revestimento de fraldas. O revestimento dos tapetes em não-tecido está incluído nos têxteis técnicos uma vez que é funcional, os usados em aplicações para automóveis, uma vez que são fabricados para uma especificação técnica. Os componentes para calçado estão incluídos. <sup>[17]</sup>

### **2.8.1 Mercados mundiais para têxteis técnicos: previsões para 2010**

Os têxteis técnicos são responsáveis por quase um quarto de todo o consumo de têxteis (em termos de quantidade). Apesar das fracas taxas de crescimento desde o início da década a previsão para as aplicações técnicas é bem mais positiva do que para quase todos os outros mercados incluindo fibras, têxteis e vestuário. O crescimento em volume nos países em desenvolvimento como a Ásia atingirá anualmente cerca de 4,5 por cento até 2010. <sup>[17]</sup>

Prevê-se igualmente um crescimento forte nas aplicações no sector da construção no mesmo período, alcançando os 5 por cento. A procura será dirigida por produtos novos e pela crescente quantidade de compostos têxteis nos edifícios. <sup>[17]</sup>

## 2.8.2 Domínio dos têxteis técnicos

Uma das características impressionantes da indústria dos têxteis técnicos é a diversidade de matérias-primas, processos, produtos e aplicações que abrange.

O crescimento é relativamente saudável, especialmente quando comparado com o crescimento da maioria dos mercados têxteis não-tecidos. Em termos de volume, prevê-se que o crescimento se situe anualmente em média em 3,5 por cento entre 1995 e 2005 e 3,8 entre 2005 e 2010.<sup>[17]</sup>

## 2.8.3 Divisão por área de aplicação

Os produtos finais elaborados com têxteis técnicos estão agrupados nas seguintes 11 áreas principais de aplicação, tal como definido pela *Messe Frankfurt*:

- *Agrotech*: agricultura, horticultura, silvicultura e pesca;
- *Buildtech*: construção e arquitectura;
- *Clothtech*: componentes funcionais para calçado e vestuário;
- *Geotech*: geotêxteis e engenharia civil;
- *Hometech*: produtos usados em casa, incluindo componentes para mobília e pavimentação;
- *Indutech*: filtros e outros produtos usados na indústria;
- *Medtech*: higiene e medicina;
- *Mobiltech*: construção de transportes, equipamento e mobiliário;
- *Packtech*: embalamento e armazenamento;
- *Protech*: protecção pessoal e de bens;
- *Sporttech*: componentes para desporto e lazer.<sup>[17]</sup>

#### **2.8.4 Aplicações na construção civil e arquitectura**

Os têxteis estão a aumentar a sua participação no mercado da construção referido pela *Messe Frankfurt* como “*Buildtech*”. As propriedades mecânicas dos têxteis produzidos para esta aplicação são pelo menos iguais e muitas vezes superiores às dos materiais tradicionais.

Estes têxteis têm características importantes para estas aplicações como a leveza, resistência e elasticidade assim como resistência à corrosão e degradação por químicos e poluentes existentes no ar.

Ainda possuem uma vasta gama de aplicações, desempenhando funções de separação, reforço, filtração, drenagem isolamento e protecção. A utilização de têxteis técnicos geotêxteis na substituição de materiais convencionais não só reduz consideravelmente o custo da obra, como também aumenta o tempo de vida útil da mesma e facilita a construção.

As aplicações para construção consumiram cerca de 1,65 milhões de toneladas de têxteis técnicos em 2000, com um valor estimado em 5,9 mil milhões de dólares. Prevê-se que este volume atinja 2,6 mil milhões de toneladas em 2010, representando uma taxa de crescimento de 57,2 por cento ou 4,6 por cento por ano, sendo uma das mais rápidas dentro das doze áreas principais de aplicação.<sup>[17]</sup>

O desenvolvimento de materiais têxteis para aplicações técnicas tem sido tema dominante nos projectos de investigação têxtil, levados a cabo nos últimos anos em todo o mundo. Uma das aplicações mais interessantes dos materiais têxteis, quer sejam fibras, fios ou tecidos, é sua aplicação como reforço de matrizes orgânicas (poliéster, epóxidas, polipropileno, poliamida, etc.), cerâmicas (carboneti de silício) e metálicas (alumínio, titânio, cobre, etc.) dando origem a materiais compósitos de reforço têxtil.<sup>[19]</sup>

## 2.9 Não-tecidos

O termo não-tecido a mais de meio século atrás, quando os não tecidos eram considerados frequentemente como substitutos de preços baixos para os tradicionais têxteis e eram geralmente fabricados a partir de *dry laid* (disposição a seco) teias cardados usando máquinas têxteis convertidas para essa transformação. Segundo Krčma, tecidos – não-tecidos são “tecidos” têxteis produzidos a partir de uma camada fibrosa, podendo esta ser um manta de carda, uma manta fibrosa, um sistema de fibras ou fios estendidos aleatoriamente ou de forma orientada, possivelmente combinada com materiais têxteis ou não-têxteis, tais como tecidos têxteis convencionais, filmes poliméricos, camadas de espuma, folhas metálicas, etc., formando com eles um produto têxtil mecânico ou quimicamente ligados” Os “tecidos” são obtidos na transformação de fibras em tecidos, que não passam pelo processo de tecelagem convencional, essa colagem (consolidação) da manta se dá por vários métodos:

- químicos;
- mecânicos;
- térmicos.

Estes processos substituem a tecelagem (ou malharia) de produções têxteis tradicionais.

Trata-se de uma estrutura plana, flexível e porosa, constituída de véu ou manta de fibras ou filamentos. Podem ser divididos em duráveis (como revestimento interno de automóveis, base de carpete, indústria do calçado, indústria do mobiliário, geotêxtil, coberturas agrícolas, entretelas para confecção, por exemplo), semi-duráveis (panos de limpeza) e descartáveis (absorventes femininos, fraldas, lenços umedecidos, acessórios e artigos para a área odonto-médico-hospitalar.

### 2.9.1 Métodos de produção da manta fibrosa

Na maior parte dos não-tecidos a manta fibrosa é normalmente, composta por sistema fibroso plano. As características comuns de todos estes sistemas fibrosos bem como as propriedades que devem possuir são as seguintes:

- Largura e comprimento muito maior que a espessura.
- Os sistemas fibrosos são formados por fibras que se comportam como partículas cineticamente independentes.
- A sua massa por unidade de superfície e espessura devem ser uniformes em todos os sentidos.
- As fibrilas devem encontrar-se orientadas de modo a produzirem a anisotropia e propriedades desejada do produto final.
- A coesão longitudinal e transversal da manta fibrosa deverá ser adequada à tecnologia do processo seguinte, a resistência a tracção deverá ser suficiente elevada para resistir à tensão prevista durante o desenrolamento e durante a passagem pelo mecanismo de reforçamento.

Os diferentes requisitos que deverão ser satisfeitos pelos vários métodos de produção alternativos da manta são os seguintes:

- Massa por unidade de superfície,
- Massa por unidade de volume,
- Número de camadas individuais que formam a manta.
- Orientação das fibras na manta , que poderá ser preferencialmente:
  - a) Longitudinal
  - b) Transversal
  - c) Longitudinal e transversal
  - d) Aleatória<sup>[20]</sup>

São consolidados por processo mecânico (fricção) e/ou químico (adesão) e/ou térmico (coesão) e combinação destes processos.

As fibras/filamentos podem ser artificiais (viscose, vidro, silicone), naturais (lã, algodão, coco, sisal), ou sintéticos (poliéster, polipropileno, poliamida, polietileno).  
[20]

As propriedades dos não tecidos são determinados pela totalidade das propriedades das fibras que o compõe, pela macro – estrutura do não tecido, e no caso dos não tecidos por ligação adesiva, pelas propriedades das matérias adesivas.

A função das fibras em “tecidos” não-tecidos pode variar de acordo com o sistema ligante utilizado no “tecido”. Este é o factor principal na formulação dos requisitos necessários e na selecção dos tipos de fibras mais adequados. Podem os seguintes casos:

As fibras formam o esqueleto do não-tecido e a estrutura fibrosa do esqueleto completo; As fibras formam o elemento ligante do não-tecido devido as suas propriedades de feltragem, sendo processadas em forma de mechas que são utilizadas como elemento de ligação;

As fibras o elemento ligante do não-tecido devido às propriedades de inchamento e dissolução, devido as suas propriedades termoplásticas (fibrilas muito finas, fibras finas bicompostas, fibras ligantes mais grossas), devido as suas propriedades de encolhimento; As fibras formam o material de enchimento do sistema total.  
[20]

### **2.9.2 Participação dos não-tecidos por segmento de aplicação**

Os não tecidos se dividem por seguimento de mercado da seguinte forma:

- 1) duráveis: 60%
- Calçado: 9%
- Construção civil / geotecnia: 8%
- Panos de limpeza (Semi-Duráveis): 5%



- Filtração: 3%
- Automóvel: 2,5%
- Outros (agricultura, embalagens, confecção, carpetes, Etc.): 32,5%

2) Descartáveis: 40%

- Higiênicos (Fraldas E Absorventes Femininos): 34%
- Lenços humedecidos: 4%
- Odonto-Médico-Hospitalar: 2%.<sup>[21]</sup>

## 2.10 Materiais compósitos

Um material compósito é basicamente um material cuja composição entram dois ou mais tipos de materiais diferentes. Alguns exemplos são metais e polímeros, metais e cerâmicas ou polímeros e cerâmicas.

Os materiais que podem compor um material compósito podem ser classificados em dois tipos: matriz e reforço.

O material de matriz é o que confere estrutura ao material compósito, preenchendo os espaços vazios que ficam entre os materiais reforços e mantendo-os em suas posições relativas. Os materiais reforços são os que realçam propriedades mecânicas, electromagnéticas ou químicas do material compósito como um todo.

Pode ainda surgir uma sinergia entre material matriz e materiais reforços que resulte, no material compósito final, em propriedades não existentes nos materiais originais.

Compósitos são materiais de duas ou mais fases que buscam melhorar determinadas propriedades que cada material em separado não apresenta. Entre

essas propriedades pode-se citar a resistência à tracção, resistência à flexão, rigidez, resistência à fadiga e condutibilidade térmica.

As utilizações de materiais compósitos iniciaram-se em finais do século vinte, com sua ostensiva expressão industrial. De artigos simples até as aplicações em estruturas e componentes para indústria aeronáutica e aeroespacial.

Os compósitos se sobressaem devido à sua facilidade de produção em comparação a materiais tradicionais.

Um material diz-se compósito quando resulta da combinação de dois ou mais materiais distintos.

Os exemplos mais comuns são os compósitos fibrosos, que são o resultado da dispersão de material fibroso, num material que os aglutina, designado por matriz.

Desde os tempos bíblicos já se utilizava fibras (palha) em tijolos de argila, para agregar características de reforço.

Na actualidade o que se adjectiva como compósito é muito amplo, que vão desde o betão armado ao compósito de elevado desempenho, à base de resinas epóxicas reforçadas com fibras contínuas de carbono.<sup>[22]</sup>

Os materiais compósitos aumentam substancialmente o leque de opções e de soluções de novos materiais a serem aplicados. Portanto é natural que os compósitos estejam disseminados então diversificadas áreas desde a indústria aeronáutica a construção civil.

A função essencial de dar forma ao compósito é da matriz, sendo assim são classificados de acordo com o tipo de matriz utilizado, em

- matriz polímerica,
- matriz metálica,

- matriz cerâmica, e
- matriz cimentícia.

Sendo de todos, os compósitos de matriz polimérica, os mais importantes devido à facilidade de processamento, desempenho e de aplicações.

As fibras mais utilizadas em compósitos de matriz poliméricas são as fibras de carbono, de vidro e aramidas. Por sua vez as matrizes podem ser termoplásticas, como o polipropelino (PP) e o poli-éter-éter-cetona (PEEK), bem como as resinas termoendurecíveis de poliéster ou epóxidas entre outras.

As fibras e as matrizes podem ser pré-combinadas, dando origem aos chamados semi produtos, que são posteriormente processados para a obtenção da peça compósito final. A conjuntos de aditivos que frequentemente são utilizados nos compósitos, tendo objectivos tão diversos, como diminuir custos, aumentar a tenacidade ou melhorar o comportamento ao fogo. <sup>[22]</sup>

### **2.10.1 Matriz**

Matrizes são compostos orgânicos de elevado peso molecular, produto de reacções de polimerização por adição ou condensação de diversos compostos de base. <sup>[22]</sup>

As matrizes de natureza polimérica dividem-se em duas categorias principais: termoplásticas e termoendurecíveis.

As matrizes termoplásticas são constituídas maioritariamente pelos designados plásticos técnicos.

As matrizes termoplásticas são constituídas maioritariamente pelos designados plásticos técnicos. Estes plásticos são formados a partir de macro moléculas individuais lineares sem qualquer reticulação entre si. Estas moléculas de grandes dimensões são mantidas nas suas posições à custa de ligações secundárias (força intermoleculares), tais como forças de Van der Waals e ligações de hidrogénio. Quando se aquecem os polímeros termoplásticos, estas ligações são temporariamente quebradas e passa a existir mobilidade molecular que permite a reconformação. Com o arrefecimento posterior, as moléculas como que “congelam” nas posições entretanto alcançadas, restabelecendo-se as ligações químicas. Os termoplásticos salientam-se por apresentarem maior tenacidade e bastante menor higroscopicidade quando comparados com os polímeros termoendurecíveis são facilmente processados por injeção ou por termoformação e podem ser reciclados.<sup>[22]</sup>

As matrizes são responsáveis pela rigidez e por manterem o reforço têxtil (fibras, fios e tecidos) em posição predeterminada e orientada no compósito.

O material têxtil, flexível, normalmente conhecido como pré forma, pode apresentar uma inúmera diversidade de formas. Para formação de uma matriz contínua e uma rede rígida, a resina deverá penetrar todos os interstícios e impregnar todas as superfícies das fibras expostas por toda a pré forma têxtil: Em consequência, a viscosidade da matriz é importante relativamente a natureza da pré forma (empacotamento das fibras aberto ou fechado) e ao método de aplicação (aplicação atmosférica ou outra).

As principais funções da matriz são:

- Transmitir a carga entre fibras;
- Impedir quebras devido à expansão entre fibras;
- Manter as fibras na orientação apropriada;
- Proteger as fibras do meio.<sup>[22]</sup>

### 2.10.2 Reforços têxteis

Nos materiais compósitos de reforço têxtil as fibras são incorporadas nas mais variadas formas, as mais comuns das quais, são as seguintes:

- Fibras moídas;
- Fios (de filamentos contínuo) cortado;
- Fios texturizados;
- Mecha (ou *roving* de filamentos contínuo);
- (ou *Matt* tela não-tecida);
- Tecido.

Podem ainda serem encontrados sob outras formas, tais como:

- malhas de trama e teia;
- entrançados;
- híbridos (combinações de vários tipos, ex. não-tecidos com tecidos convencionais).<sup>[23]</sup>

Excluindo os efeitos ao nível molecular no interior das fibras bem como alguns detalhes do design do produto, existem quatro níveis de importância que devem

ser tidos em conta no estudo da mecânica os materiais compósitos de reforço têxtil:

Fibra → Fio → Tecido → compósito

Existem expções à sequência, uma vez que para certas montagens mais simples, os fios podem ser utilizados directamente na produção do compósito:

Fibra → Fio → compósito

Torna-se evidente a mecânica dos fios é importante para este tipo de compósito.

Entretanto os não-tecidos tiveram um enorme desenvolvimento evitando o custo de produção do fio, sendo a sequência:

Fibra → Tecido → compósito

Finalmente, existem métodos, tais como a moldação por injeção de fibras dispersas em resina, que reduzem essa sequência ainda mais:

Fibra → compósito <sup>[23]</sup>

A designação processamento refere-se ao conjunto de técnicas que conduzem à obtenção ou modificação de peças em matriz polimérica. A utilização de

componentes compósitos permite uma grande flexibilidade na concepção, facto que constitui uma vantagem importante sobre os materiais tradicionais. O desenvolvimento tecnológico dos últimos anos tem permitido acentuar o grau de automatização e tornar o fabrico economicamente mais viável. Este factor, aliado ao melhor conhecimento do comportamento em serviço, tem garantido a contínua expansão dos materiais compósitos, impondo-se definitivamente em áreas tão díspares como a aeronáutica, a indústria automóvel, indústria de componentes eléctricos e electrónicos, construção civil, transportes, desportos e recreio.

As matrizes termoendurecíveis são constituídas por polímeros em que a molécula forma estruturas tridimensionais bastante rígidas. Os termoendurecíveis, ao contrário dos termoplásticos não podem ser reprocessados. <sup>[23]</sup>

### **2.10.3 Compostos termoplásticos**

Os compósitos de matrizes termoplásticas em duas categorias distintas: os compósitos de fibras curtas, com comprimento inferior a 6.4 mm, e os compósitos de fibras longas, que se destacam por apresentarem propriedades mecânicas superiores. Os polímeros que se encontram mais frequentemente como matriz são polipropilenos, poliamidas e policarbonatos. Nos compósitos de alta resistência usam-se sobretudo o PEEK (poli-éter-éter-cetona), poliamidas e o PPS (polisulfureto de fenileno). <sup>[23]</sup>

O interesse na utilização de compósitos termoplásticos tem-se acentuado nos últimos anos. Estes materiais oferecem algumas vantagens relativamente aos compósitos de matriz termoendurecível, nomeadamente porque podem ser reprocessados.

Genericamente esses compósitos podem apresentar-se nas seguintes formas pré-preparadas: GMT (glass mat thermoplastics) e ATC (advanced thermoplastic composites). Em princípio, as formulações GMT podem utilizar qualquer tipo de matriz termoplástica, embora 95% das aplicações comerciais sejam a base de polipropileno. Os ATCs utilizam termoplásticos amorfos para a matriz, tais como as polietersulfonas e as poletermidas.<sup>[24]</sup>

## 2.11 Trabalhos científicos desenvolvidos com base em resíduos têxteis aglomerados com fibras ou filmes termoplásticos

Inúmeros trabalhos científicos já foram investigados e tem sido levado a cabo nesse domínio.

Os eco-compósitos ainda são uma vertente pouco explorada. A necessidade de compósitos biodegradáveis com uma meia-vida menor, tem direcionado as investigações para esse sentido.

Trabalhos com fibras naturais ou fibras têxteis inseridas em compósitos, também são investigados exaustivamente.

No entanto, compósitos, com resíduos de fibras ou compósitos com fibras recicladas, não são encontrados com a demasia ainda necessária.

Trabalho desenvolvidos como “ *Study on waste fibre reinforced ecocomposites*”.<sup>[25]</sup> de Anna Lundahl, que investigou painéis compósitos com resíduos têxteis impregnado com filmes de PP. Onde a ênfase investigada foi a resistência do material desenvolvido.

Trabalho com inserção de fibras naturais curtas ou fibras longas como fibras de Ananás, fibras de casca de arroz, fibras de sisal, tendo como matriz resinas



comerciais ou cimentícia,<sup>[25-27]</sup> entre outras, podem ser encontradas com facilidade. Todos os trabalhos desenvolvidos são aplicados ou sugestionados a diversos fins.

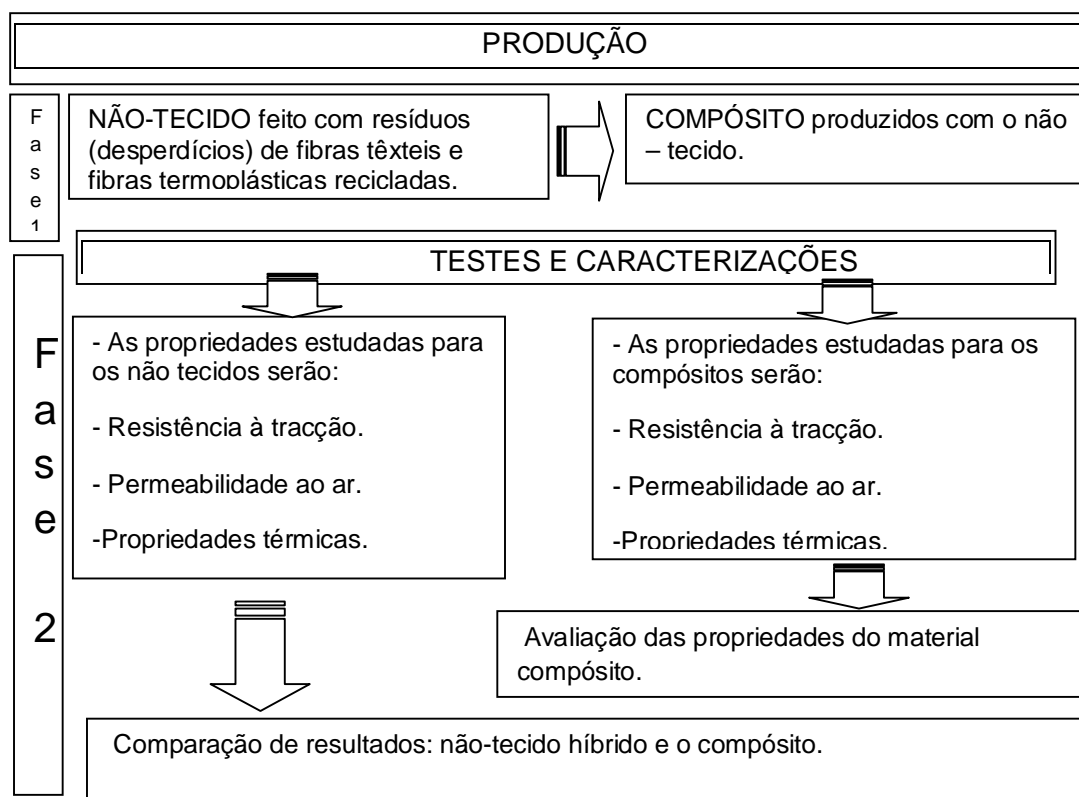
Os trabalhos desenvolvidos com resíduos têxteis são muito poucos, dificilmente encontrados em literatura científica. Com raras exceções como a citada acima

## CAPÍTULO III – MATERIAIS E PROCESSOS

### Desenvolvimento de não-tecidos híbridos com fibras recicladas

#### 3.1 Plano experimental

O plano experimental foi levado a cabo com vistas ao desenvolvimento do não-tecido híbrido com fibras recicladas dividindo-se em duas fases. A primeira fase será a da produção do não-tecido, que servirá de base para a produção do Eco-Compósito. Na segunda fase, serão feitas análises das características físicas adquiridas pelos diferentes materiais. A estrutura configura-se da seguinte forma:



### 3.1.1 Produção

#### Considerações Preliminares - Produção do não-tecido

Iniciou-se este trabalho com o emprego da tecnologia de não-tecidos, sendo esta utilizada para as incorporações das fibras utilizadas, que foram resíduos têxteis oriundos das indústrias têxteis da região norte de Portugal.



Figura 3.1 Aglomerados de fibras celulósicas recicladas

As fibras celulósicas da figura 3.1 foram consorciadas com fibras termoplásticas – PET- Poli (Tereftalato de Etileno), figura 3.2.

Estas fibras PET foram adquiridas no comércio especializado.



Figura 3.2 Aglomerados de fibras PET

E por fim para ampliação de observação do comportamento físico e mecânico, e avaliação se haveria um melhor comportamento ao isolamento térmico do compósito foram adicionados percentuais variáveis de fias de vidro ao mesmo.

### 3.1.2 Matérias-primas Utilizadas

#### 3.1.2.1 Fibras celulósicas recicladas (*desperdícios*)

As fibras celulósicas recicladas, são provenientes das indústrias de confecção da região do Minho, norte de Portugal. Foram nominalmente denominadas fibras celulósicas, mas a massa composta por esse material incluem outros percentuais de fibras que se seguem:

O quadro 3.1 trás a caracterização das fibras que compõe o aglomerado de desperdícios fibrosos.

| Composição dos desperdícios                  | %  |
|--|----|
| Fibras celulósicas, maioritariamente algodão | 85 |
| Poliéster                                    | 10 |
| Lã   | 2  |
| Fibras como PP, PA, entre outras             | 3  |

Quadro 3.1 - Composição dos desperdícios

#### 3.1.2.2 Características da fibra PET

As fibras PET utilizadas na composição dos mantos híbridos são caracterizadas como descrito no quadro 3.2, e foram adquiridas no comércio especializado.

Caracterização das fibras que compõe o aglomerado de fibras PET

| Características da Fibra PET |               |
|------------------------------|---------------|
| Massa linear                 | 1,25 Denier   |
| Cor                          | Branco Óptico |

Quadro 3.2 – Características da fibra PET

### 3.1.2.3 *Características das fibras de vidro*

A fibra de vidro utilizada a princípio se constitui de um roving em mechas de filamentos contínuos. Estes filamentos são agrupados sem qualquer torção mecânicas. São filamentos de alta resistência.

As características físicas das fibras de vidro são identificadas no quadro.

| Características da fibra de vidro | Grandeza               |
|-----------------------------------|------------------------|
| Espessura do filamento            | 9 $\mu$ (mícrones)     |
| Massa volúmica (densidade)        | 2,60 g/cm <sup>3</sup> |

Quadro.3.3 – Características das fibras de vidro

Elevada resistência a rotura de fibras, boa estabilidade em altas temperaturas quando usadas em aplicações termoendurecíveis ou termoplásticas.

Têm a capacidade em compósitos de suportar níveis elevados de tensão e de flexão à fadiga, sem falhas catastróficas. O comprimento e espessura das fibras é estável a temperaturas de processamento maiores ou iguais a 670 °F. Os filamentos foram cortados com aproximadamente 4 cm de comprimento. E só após serem dispersos manualmente com as outras fibras componentes é que foram levadas a linha de processamento de não-tecidos. O percentual variável de fibras de vidro, se deve a também investigação da interação sinérgica entre fibras e qual a mais-valia da adoção da fibra de vidro no compósito. As fibras de vidro foram retiradas do *roving* da figura 3.3.



Figura 3.3 *Roving* de fibra de vidro

## 3.2 Parâmetros de produção

A variação dos percentuais das fibras termoplásticas se deveu ao fato da análise comportamental do compósito após o termo fusão, ou seja a avaliação do comportamento de resistência a tracção, após a fusão das fibras termoplástica no compósito.

Através da termo fusão e moldação as fibras termoplásticas - PET - tomaram a função de matriz no compósito.

Para o desenvolvimento das massas híbridas de fibras que formaram o manto determinou-se o peso de 1 kg de massa total. Ou seja se a amostra tem 50% de

resíduos fibrosos celulósico, isto equivale a 500 gramas da massa total de fibras que compõe o manto, e subsequentemente as outras composições. As massas fibrosas de resíduos foram pesadas, e reservadas. Em seguida foram abertas as fibras de PET, para descompactá-las, e por sua vez essa massa também foi pesada, para a determinação percentual de composição do manto.

O primeiro Não-tecido foi produzido com a composição apresentada no quadro 3.4.

| Componente                 | (%) percentual |
|----------------------------|----------------|
| Resíduos de fibras têxteis | 90             |
| Fibras de PET              | 10             |

Quadro 3.4 – Identificação da amostra 90RE10PET

Este material foi identificado como **90RE10PET**.

O segundo Não-tecido foi produzido com a composição apresentada no quadro 3.5.

| Componente                 | (%) percentual |
|----------------------------|----------------|
| Resíduos de fibras têxteis | 80             |
| Fibras de PET              | 20             |

Quadro 3.5 - Identificação da amostra 80RE20PET

Este material foi identificado como **80RE20PET**.

A terceira amostra foi produzida com a composição apresentada no quadro 3.6

| Componente                 | (%) percentual |
|----------------------------|----------------|
| Resíduos de fibras têxteis | 50             |
| Fibras de PET              | 40             |
| Fibras de vidro            | 10             |

Quadro 3.6 - Identificação da amostra A1FG

Este material foi identificado como amostra número 1 contendo fibras de vidro - **A1FG**.

O quarto não-tecido foi produzido com a seguinte composição apresentada no quadro 3.7.

Identificação da amostra A2FG.

| Componente                 | (%) percentual |
|----------------------------|----------------|
| Resíduos de fibras têxteis | 50             |
| Fibras de PET              | 30             |
| Fibras de Vidro            | 20             |

Quadro 3.7 - Composição amostra A2FG

Este material foi identificado como amostra número 2 contendo **A2FG**.

O quinto não-tecido foi produzido com a seguinte composição apresentada no quadro 3.8.

Identificação da amostra A3FG

| Componente                 | (%) percentual |
|----------------------------|----------------|
| Resíduos de fibras têxteis | 50             |
| Fibras de PET              | 20             |
| Fibras de Vidro            | 30             |

Quadro 3.8 – Composição amostra A3FG

Este material foi identificado como amostra número 3, contendo fibra de vidro **A3FG**.



O quadro 3.9 mostra os ajustamentos efectuados na linha para a produção de um não-tecido com características convencionais.

Ajustes convencionais da linha para a produção de um não tecido.

| Parâmetros                                    | Definições |
|---|------------|
| <b>Profundidade de penetração das agulhas</b> | 8 mm       |
| <b>Penetrações</b>                            | 250 min    |
| <b>V<sub>0</sub> velocidade de entrada</b>    | 100 cm/min |
| <b>V<sub>1</sub> Velocidade de saída</b>      | 40 cm/min  |

Quadro 3.9 – Parâmetros de ajustes convencionais

Como se esperava produzir um não-tecido com características não convencionais, buscou se os melhores parâmetros de produção chegando se aos ajustes descritos no Quadro 3.10.

O quadro 3.30 apresenta os dados de ajustes não convencionais da linha para a produção de um não tecido pouco coeso.

| Parâmetros                                    | Definições |
|---|------------|
| <b>Profundidade de penetração das agulhas</b> | 8 mm       |
| <b>Penetrações</b>                            | 500 min    |
| <b>V<sub>0</sub> velocidade de entrada</b>    | 81 cm/min  |
| <b>V<sub>1</sub> Velocidade de saída</b>      | 80 cm/min  |

Quadro 3.10 – Ajustes do equipamento não convencionais

Para a obtenção da distribuição homogénea das fibras na composição das mantas, só após as fibras serem abertas e misturadas manualmente, foram levadas a linha de abertura da máquina.

As fibras dão entrada no sistema de cardaço do equipamento, começando assim efectivamente o processo de produção do manto.

Como na ideia inicial de menor coesão, ou compactação das fibras para favorecer a permeabilidade do ar, calibrou-se a máquina numa velocidade de saída do tapete e entrada no sistema de agulhagem, sendo essas velocidades maiores que as usadas na produção normal para um não tecido. Essa tomada de decisão se deve ao fato de que o manto deveria ficar pouco tempo, ou o menor tempo possível sob esse processo de ação das agulhas.

O tempo mínimo necessário foi observado, para que houvesse a coesão entre fibras, dando sustentabilidade estrutural ao manto sem no entanto compactá-lo em demasia.

Essa opção de construção do manto, é também um fator relevante nas características de resistência à tração e ao alongamento, não favorecendo essas características, visto que sua coesão do manto é mínima.

Essa operação foi repetida por diversas vezes até se chegar a uma velocidade de entrada e saída, que correspondesse à necessidade descrita anteriormente.

As figuras 3.4 a 3.6 apresentam vistas da linha

de produção de Não Tecidos utilizada para a confecção da base do protótipo.



**Figura 3.4** Abertura da linha de produção de não-tecido



**Figura 3.5** Carda da linha de produção de não-tecido



**Figura 3.6** Saída da linha de produção de não-tecido

O desenvolvimento dos mantos de não-tecidos iniciou-se com a abertura manual das fibras de resíduos, para a descompactação sendo necessária a maior abertura possível, antes de alimentar a linha de processo. Esta abertura foi feita manualmente, para detecção de partes metálicas presentes neste tipo de material, o que é comum. O cuidado se justifica-se por que a presença destas partes metálicas poderia danificar a linha de processamento.

A operação foi repetida por diversas vezes, nas diferentes composições percentuais de fibras.

A espessura do manto também, varia bastante pela opção de não compactação.

Sendo este problema sanado na fase de formação do compósito.

Esta mesma variação de espessura, da origem a análise do comportamento do manto com relação a condutibilidade térmica. Sendo que a espessura nessa primeira etapa do processo, serve apenas para as considerações finais de estudo da viabilidade ou não do compósito.

Uma das preocupações iniciais quanto a produção dos mantos com fibra de vidro, seria se as cardas ficariam ou não impregnadas com as fibras de vidro, se as mesmas se incorporariam as outras fibras, visto que as fibras celulósicas recicladas são curtas ou muito curtas, se ocorreria ou não o emaranhamento das fibras na cardas.

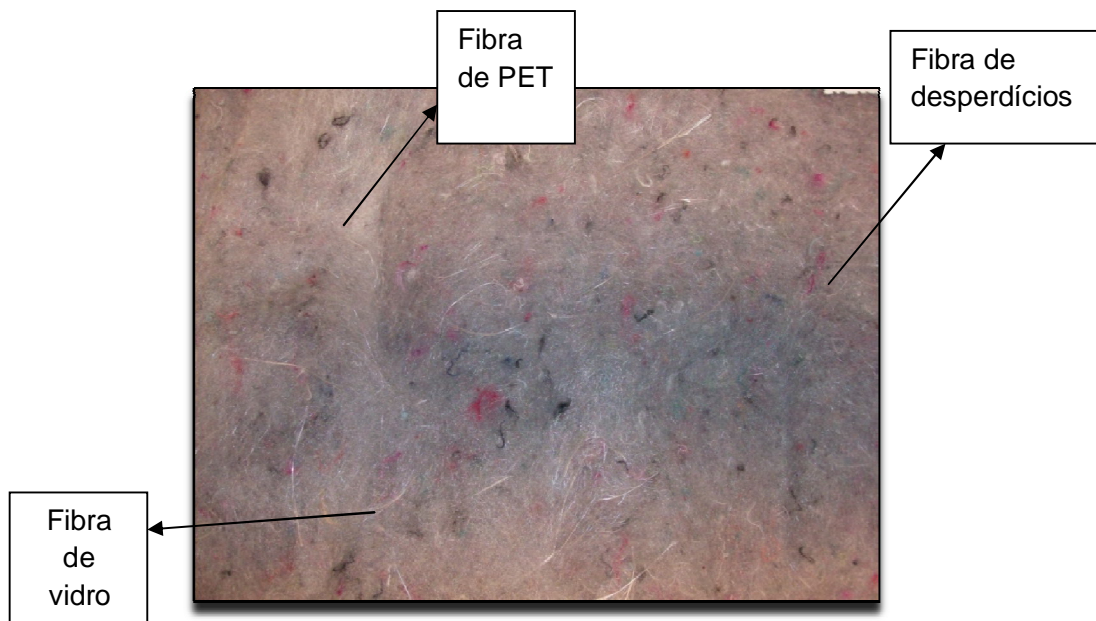
Estas preocupações não se configuraram, sendo que o processo de produção dos mantos onde as fibras de vidro compõem as mesmas, ocorreu sem nenhum problema.

As características físicas adoptadas pelo não-tecido são descritas no quadro 3.11.

| Identificação do não-tecido | Massa por unidade de superfície (g/cm <sup>3</sup> ) | Espessura (mm) |
|-----------------------------|--|----------------|
| 80RE20PET                   | 5,28   | 9              |
| 90RE10PET                   | 4,89   | 8,5            |
| A1FG                        | 4,88   | 7,8            |
| A2FG                        | 4.95   | 8              |
| A3FG                        | 5,61   | 8              |

Quadro 3.11 Características física dos não-tecidos

Foram desenvolvidas 5 amostras com percentuais variáveis de fibras componentes. Na figura 3.7 vê-se as fibras na composição do manto.



**Figura 3.7 As fibras de vidro, PET e de desperdícios**

As figuras à seguir mostram os mantos de não-tecido em preparação para retiradas de amostras.



**Figura 3.8 Vista do não-tecido de onde foram retidas amostras**



**Figura 3.9 Vista lateral e superior do manto**



**Figura 3.10 Manto híbrido de não- tecido preparado para corte de amostras**

As amostras foram retiradas do manto e identificadas com etiquetas, onde constavam sua composição e o número do corpo de teste.

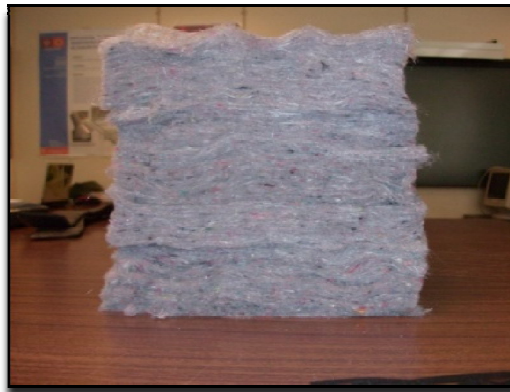


Figura 3.11 Mantos de não tecido híbridos



Figura 3.12 Provetes das cinco diferentes composições

### 3.3 Propriedades dos não-tecidos

Neste item serão analisadas algumas propriedades físicas das amostras produzida para serem a base do material compósito que serão produzidos em seguimento.



### 3.3.1 Ensaios de resistência à tracção

As propriedades mecânicas dos não-tecidos foram avaliadas de acordo com as normas ISO 9073-3: 1989. [29]

As amostras foram preparadas com tamanhos de 50 mm x 250 mm, tendo sido retiradas do não-tecido no sentido de saída da máquina e em sentido contrário a saída da máquina, ou seja, na direcção transversal da manta.

Os corpos de prova foram ensaiados com o Dinamómetro Hounsfield com uma velocidade de 100 mm/min.

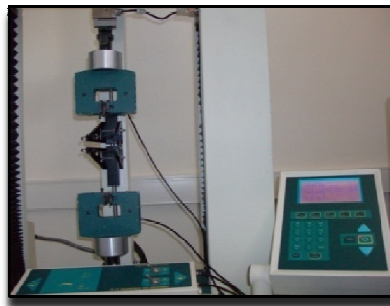


Figura 3.13 Dinamómetro Hounsfield

Todos os corpos de prova, das várias composições híbridas foram ensaiadas como ilustra a Figura 3.14.

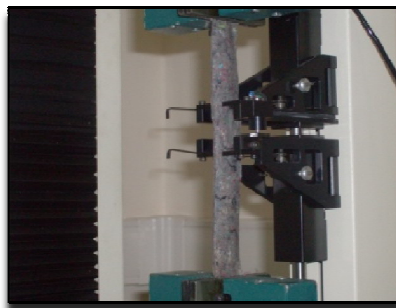


Figura 3.14 Dinamómetro com corpo de prova em não-tecido sendo ensaiado

### **3.3.2 - Análise das características de comportamento à tracção do não-tecidos**

Neste tópico analisam - se as características comportamentais das amostras das diferentes composições híbridas, com relação ao ensaio de tracção.

#### **3.3.2.1 Resultados Obtidos**

Devido à opção inicial da não coesão das fibras, a resistência à tracção saberia - se de antemão seria muito pequena, o que realmente se caracterizou.

No entanto é interessante observar o comportamento do não-tecido quando a resistência a tracção nos provetes retirados no sentido transversal da manta ou seja no sentido contrário ao da saída da máquina.

O fato de as fibras estarem em sentido paralelo a saída da máquina proporcionaria o maior deslizamento entre elas, o que resultaria menor resistência.

O mesmo não ocorrendo no sentido contrário a saída onde a resistência se configura a maior devido as fibras estarem em sentido transversal ao corte.

Na figura 3.15 pode - se analisar as características resultantes da resistência à tracção, a figura ilustra as curvas dos testes dos corpos de prova no sentido de saída da máquina identificado como curva Força N – mac e a curva Força N – cross identifica o teste do corpo de prova retirado no sentido transversal a saída da máquina.

Em estatística, o coeficiente de variação é uma medida de dispersão que se presta para a comparação de distribuições diferentes. O desvio-padrão, uma medida de dispersão, é relativo à média e como duas distribuições podem ter médias/valores médios diferentes, o desvio dessas duas distribuições não é

comparável. A solução é usar o coeficiente de variação, que é igual ao desvio-padrão dividido pela média:

$$c_v = \frac{\sigma}{\mu}.$$

Eq. (03)

Algumas vezes, o coeficiente de variação é ainda multiplicado por 100, passando a ser expressado como percentagem.

Os quadros abaixo retratam estes valores, com referência aos ensaios a tracção, valores referentes a amostra 80RE20PET.

| Sentido cross        | Resistência à tracção máxima (N) | Alongamento (mm) |
|----------------------|----------------------------------|------------------|
| <b>Média</b>         | 1,75                             | 34,25            |
| <b>Desvio Padrão</b> | 0,42                             | 8,23             |
| <b>C.V %</b>         | 24                               | 12,15            |

Quadro 3.12- Resultados estatísticos dos ensaios para sentido cross 80RE20PET

No quadro 3.13 estão os resultados estatísticos dos dados para a amostra 80RE20PET no sentido Mac.

| Sentido mac          | Resistência à tracção máxima(N) | Alongamento (mm) |
|----------------------|---------------------------------|------------------|
| <b>Média</b>         | 0,71                            | 32,11            |
| <b>Desvio Padrão</b> | 0,06                            | 4,27             |
| <b>C.V %</b>         | 8,45                            | 13,31            |

Quadro 3.13 - Resultados estatísticos dos ensaios para sentido mac 80RE20PET

Os pontos máximos de resistência à tracção estão demonstrados no quadro 3.14.

|              | Ponto máximo de Tracção (N) | Ponto máximo de alongamento (mm) |
|--------------|-----------------------------|----------------------------------|
| <b>Cross</b> | 1,18                        | 60,8                             |
| <b>Mac</b>   | 1,23                        | 47,18                            |

Quadro 3.14 – Pontos máximos de resistência a tracção para amostra 80RE20PET

Com relação aos dados da figura 3.16, as análises podem ser feitas da seguinte forma, tanto a força aplicada na tracção e o alongamento que esta tracção exerceu até cisão das amostras retiradas no sentido de saída da máquina, bem como nas amostras retiradas no sentido contrário, os valores obtidos nos ensaios se equiparam. Sendo as duas curvas de análise de resistência à tracção quase coincidentes

Ainda se mostram menos resistente à tracção, que na comparação com o ensaio apresentada na figura 3.15.

Esta característica deve - se provavelmente à menor adição de fibras PET, que nesta amostra como tal como descrito no Quadro 3.2, tem 10% de fibras PET na sua composição, estas fibras por sua vez têm um comprimento maior que as fibras de resíduos. As fibras celulósicas provenientes de reciclagem são mais curtas devido ao reprocesso. Estas fibras com comprimento menor não favorecem a sinergia entre fibras ocasionando uma menor resistência a tração, pois favorecem o “deslizamento” inter fibras, havendo menor corpo de contato entre elas. Como pode-se analisar os dados se assemelham tanto no sentido de saída, bem como no sentido contrário. Observa-se também a força aplicada em relação a Figura 3.15, onde a força aplicada é maior e o alongamento até a ruptura também é maior. Isto caracteriza se, pela maior concentração de fibras PET, neste caso 20% .

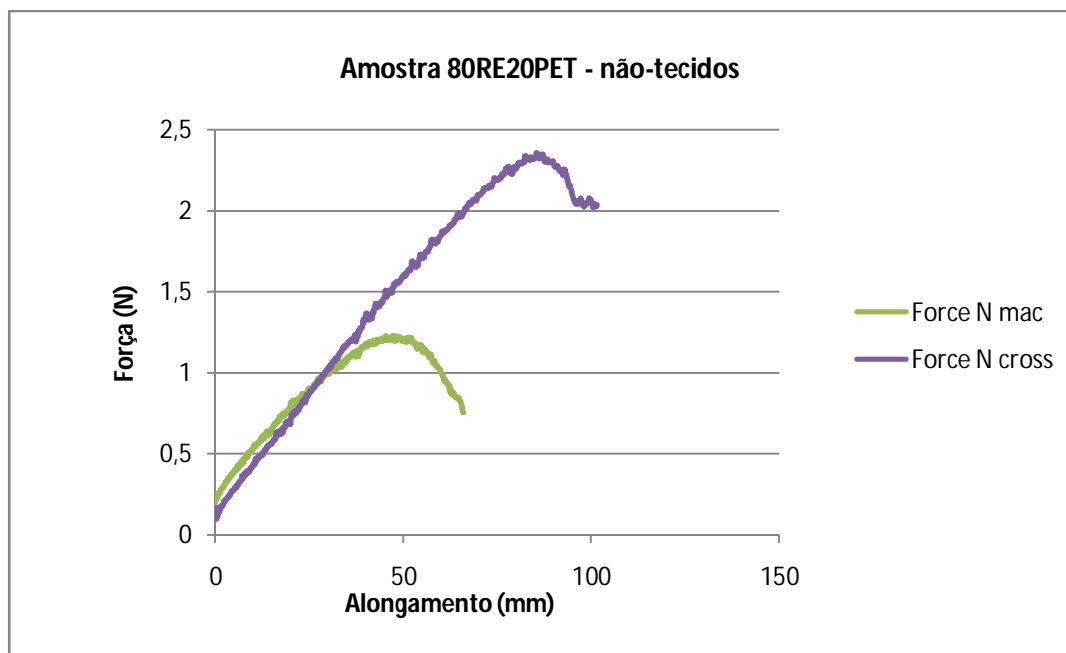


Figura 3.15 – Curvas do corpo de prova 80RE20PET, retirados no sentido de saída, identificado como – Mac e no sentido contrário à saída identificado como - cross

O quadro 3.15 refere se aos resultados de ensaios de resistência à tracção, sentido Mac, amostra 90RE10PET.

| Sentido mac          | Resistência à tracção máxima<br>(N) | Alongamento<br>(mm) |
|----------------------|-------------------------------------|---------------------|
| <b>Média</b>         | 1,00                                | 28,73               |
| <b>Desvio Padrão</b> | 0,16                                | 5,03                |
| <b>C.V %</b>         | 16,45                               | 17,50               |

Quadro 3.15 – Resistência à tracção sentido mac amostra 90RE10PET

O quadro 3.16 refere se aos valores de ensaio para amostra 90RE10PET sentido cross.

| Sentido cross        | Resistência à tracção máxima (N) | Alongamento (mm) |
|----------------------|----------------------------------|------------------|
| <b>Média</b>         | 0,7                              | 32,11            |
| <b>Desvio Padrão</b> | 0,06                             | 4,2              |
| <b>C.V %</b>         | 21,98                            | 13,31            |

Quadro 3.16 – Resistência à tracção sentido Cross amostra 90RE10PET

O quadro 3.17 refere se aos valores máximos para ponto de tracção e alongamento para amostra 90RE10PET.

|              | Tracção (N) | Alongamento (mm) |
|--------------|-------------|------------------|
| <b>Mac</b>   | 0,52        | 19,6             |
| <b>Cross</b> | 0,57        | 22,5             |

Quadro 3.17 – Pontos máximos para amostra 90RE10PET

A resistência à tracção do provete A1FG da figura 3.17, o qual contém 10% de fibra de vidro, apresenta um comportamento bastante diferenciado com relação às amostras 80RE20PET e 3.16 que se refere à amostra 90RE10PET, as quais não possuem fibra de vidro na sua composição. A resistência á tracção é maior no sentido contrário à saída da máquina.

A força necessária aplicada à tracção para que o provete A1FG inicie o seu alongamento é muito, em comparação a das amostras 80RE20PET e 90RE10PET, e este alongamento é também reduzido quando comparado com as amostras seguintes nomeadamente A2FG e A3FG.

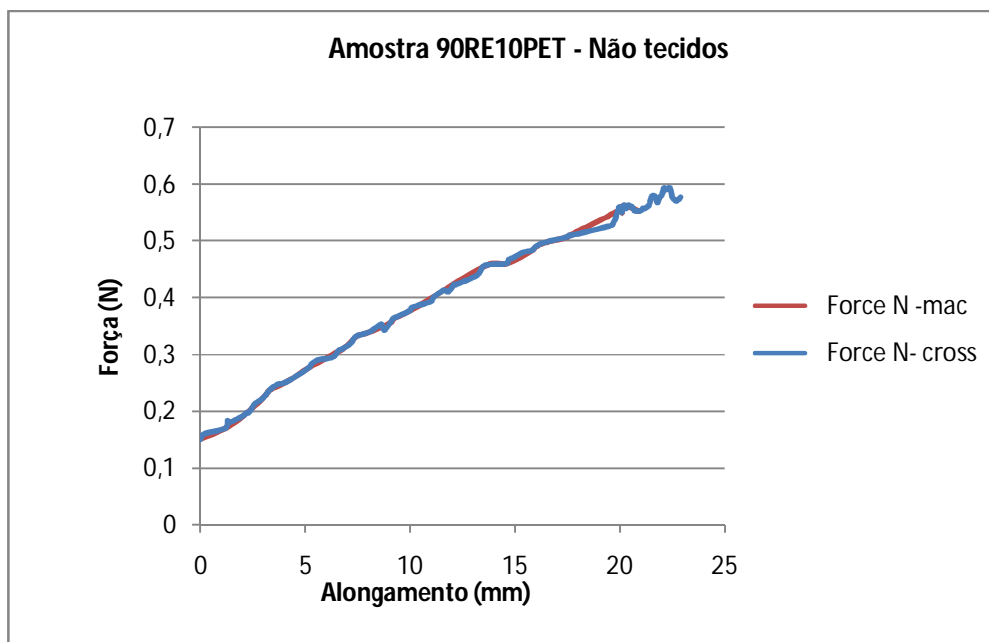


Figura 3.16 Curvas de tracção para o corpo de prova 90RE10PE, retirados no sentido de saída, identificado como – Mac e no sentido contrário a saída identificado como - cross

Os dados do quadro 3.18 e 3.19 referem se a dados estatísticos para amostra A1FG.

| Identificação        | Resistência à Tracção máxima<br>(N) | Alongamento<br>(mm) |
|----------------------|-------------------------------------|---------------------|
| <b>Média</b>         | 1,75                                | 28,73               |
| <b>Desvio padrão</b> | 0,16                                | 5,03                |
| <b>C. V. %</b>       | 0,38                                | 17,50               |

Quadro 3.18 – Resultados estatísticos para ensaios das amostras A1FG cross

| Identificação        | Resistência à Tracção máxima (N) | Alongamento (mm) |
|----------------------|----------------------------------|------------------|
| <b>Média</b>         | 0,71                             | 32,11            |
| <b>Desvio padrão</b> | 0,06                             | 4,27             |
| <b>C.V. %</b>        | 8,45                             | 13,29            |

Quadro 3.19 – Resultados estatísticos para ensaios das amostras A1FG mac

Os valores do quadro 3.20 são resultados para os pontos máximo de resistência à tracção e alongamento das amostras A1FG.

|              | Resistência à tracção (N) máxima | Alongamento máximo (mm) |
|--------------|----------------------------------|-------------------------|
| <b>Mac</b>   | 0,21                             | 2                       |
| <b>Cross</b> | 0,13                             | 2,4                     |

Quadro 3.20 – Pontos máximos de tracção para amostra A1FG

A Figura 3.17 ilustra o comportamento da amostra que tem na sua composição 10% de fibras de vidro, 20 % de fibras PET e 50% de desperdícios, denominada A1FG. Com relação à resistência à tracção, o comportamento é dúctil, sendo muito instável no seu ensaio devido provavelmente ao deslizamento das fibras entre si, do início do alongamento até a ruptura essa instabilidade permanece. Observa-se que o comportamento é semelhante nos dois sentidos de corte das amostras, sendo necessário um acréscimo de força na amostra no sentido mac para que se inicie o alongamento. Observa-se ainda que a força aplicada é muito baixa nos dois sentidos.



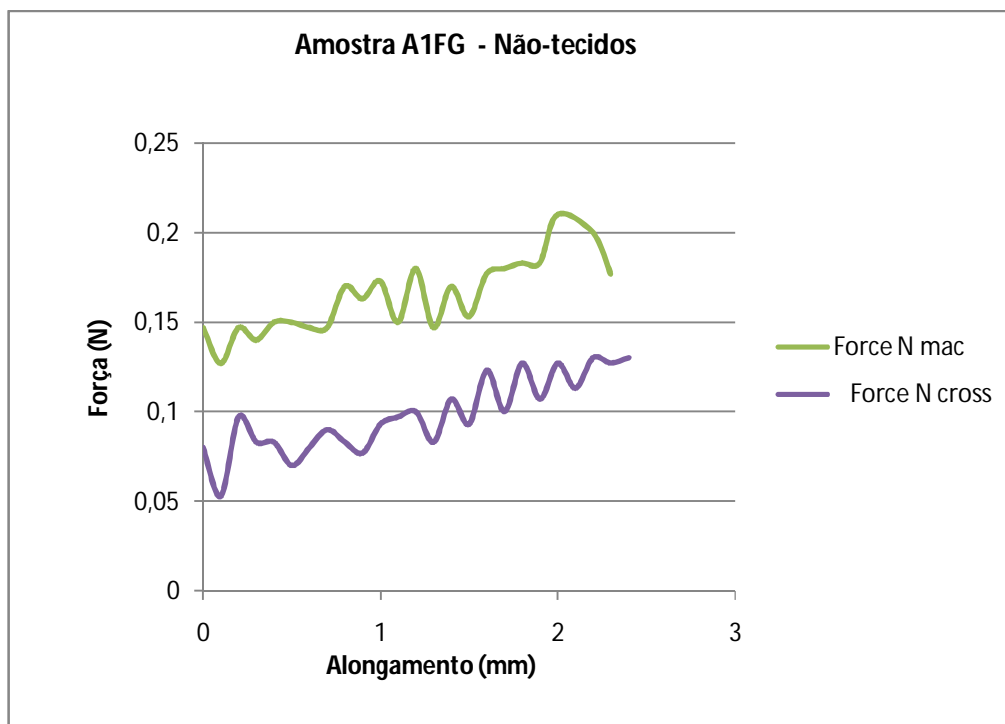


Figura 3.17 Curvas carga-alongamento dos corpos de prova A1FG, retirados no sentido de saída, identificado como – Mac e no sentido contrário à saída identificado como - cross

No quadro 3.21 estão os resultados estatísticos dos ensaios no sentido mac para amostra A2FG.

| Identificação | Resistência à tracção máxima<br>(N) | Alongamento<br>(mm) |
|---------------|-------------------------------------|---------------------|
| Média         | 0,49                                | 0,98                |
| Desvio Padrão | 0,7                                 | 0,59                |
| C.V.%         | 142,85                              | 60,20               |

Quadro 3.21 – Dados estatísticos para amostra sentido mac A2FG

O quadro 3.22 mostra os resultados estatístico dos ensaios no sentido cross amostra A2FG.

| Identificação        | Resistência à tracção máxima (N) | Alongamento (mm) |
|----------------------|----------------------------------|------------------|
| <b>Média</b>         | 0,2                              | 1                |
| <b>Desvio Padrão</b> | 0,04                             | 5,73             |
| <b>C.V.%</b>         | 20                               | 573              |

Quadro 3.22 – Dados estatísticos para amostra sentido cross A2FG

|       | Resistência à Tracção (N) | Alongamento (mm) |
|-------|---------------------------|------------------|
| Cross | 24                        | 0,67             |
| Mac   | 1,58                      | 0,56             |

Quadro 3.23 Pontos máximos de tracção para amostra A2FG

O comportamento com relação a resistência à tracção aumenta ainda mais quando comparada com as amostras anteriores, isto devido ao aumento da quantidade de fibra de vidro na composição, nomeadamente 20%. Tal como se pode observar na figura 3.18.

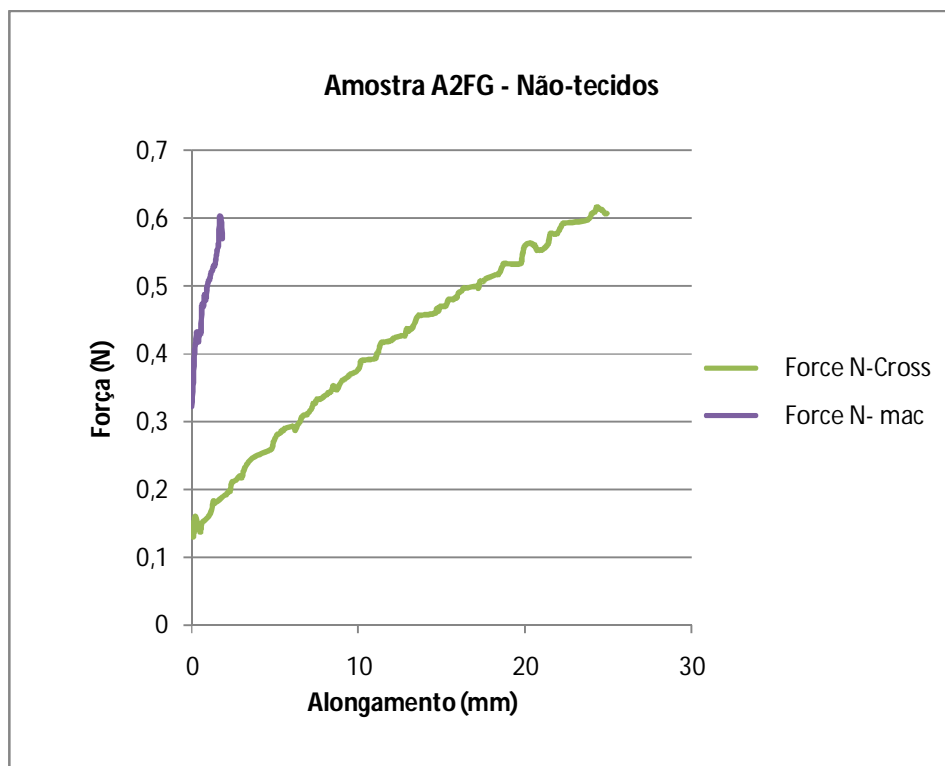


Figura 3.18 curvas de tração-alongamento para os corpos de prova A2FG, retirados no sentido de saída, identificado como – Mac e no sentido contrário a saída identificado como - cross

O quadro 3.24 apresenta os resultados obtidos no sentido mac para amostra A3FG.

| Identificação        | Resistência à tração máxima<br>(N) | Alongamento<br>(mm) |
|----------------------|------------------------------------|---------------------|
| <b>Média</b>         | 0,7                                | 23,47               |
| <b>Desvio Padrão</b> | 0,11                               | 5,61                |
| <b>C. V. (%)</b>     | 15,85                              | 23,90               |

Quadro 3.24 –Resultados estatísticos para amostra A3FG sentido mac

O quadro 3.25 apresenta os resultados obtidos para a amostra A3FG no sentido cross.

| <b>Identificação</b> | <b>Resistência à tracção máxima (N)</b> | <b>Alongamento (mm)</b> |
|----------------------|---|-------------------------|
| <b>Média</b>         | 0,9                                     | 31,80                   |
| <b>Desvio padrão</b> | 0,13                                    | 4,5                     |

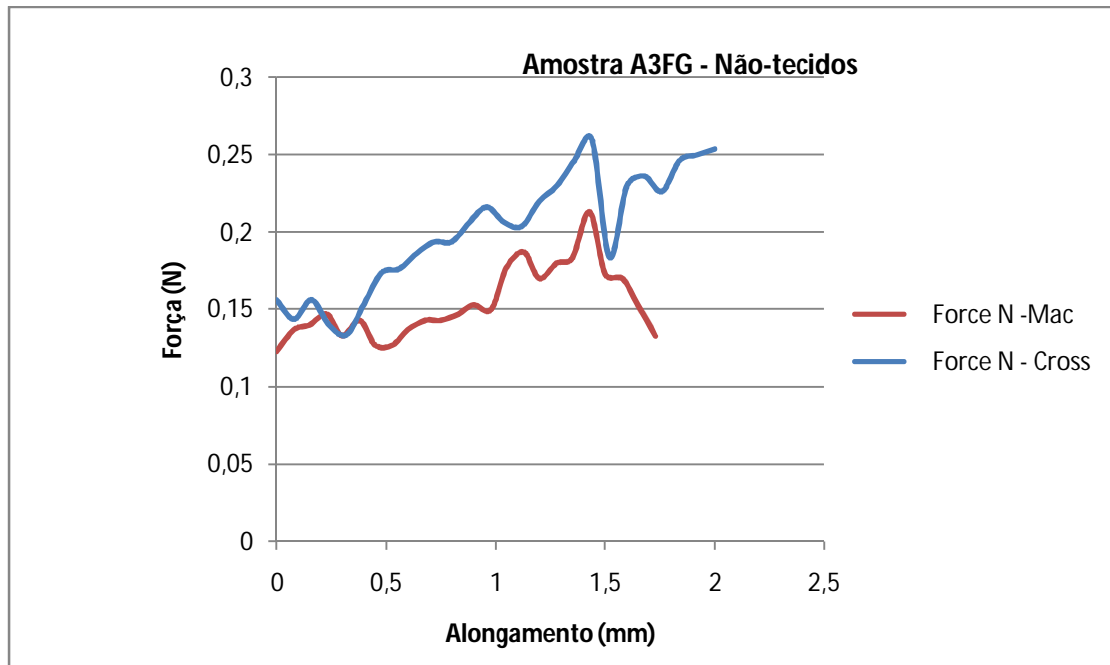
Quadro 3.25 – Resultados estatísticos para amostra A3FG sentido cross

O quadro 3.26 apresenta os resultados dos ensaios para pontos máximos de tracção até a ruptura no sentido cross para amostra A3FG.

| <b>Identificação</b> | <b>Resistência à tracção (N)</b> | <b>Alongamento (mm)</b> |
|----------------------|----------------------------------|-------------------------|
| <b>Cross</b>         | 1,92                             | 0,95                    |
| <b>Mac</b>           | 1,43                             | 0,21                    |

Quadro 3.26 – Pontos máximos de tracção para amostra A3FG

A amostra A3FG, tem um corportamento dúctil, diferenciado como se observa pelas curvas que a figura 3.19 apresenta, sendo sua resistência ligeiramente maior no sentido contrário a saída da máquina.



**Figura 3.19** Curvas carga-alongamento do corpo de prova A3FG, retirados no sentido de saída, identificado como – Mac e no sentido contrário à saída identificado como - cross

Analisando o aumento da adição da fibras de vidro nas amostras é possível perceber o aumento gradual de sua característica de resistência à tracção.

### 3.4 Propriedades térmicas

O Alambeta avalia, simultaneamente, as propriedades térmicas estacionárias, como a resistência e a condutividade e as propriedades dinâmicas, como a absortividade térmica e a difusividade térmica.

O aparelho Alambeta consiste num bloco metálico com temperatura constante (32°C) a qual difere da temperatura da amostra (20°C). Quando a medida se inicia, a cabeça de medida baixa e toca a superfície plana da amostra a medir, a qual se situa na base do aparelho, sob a cabeça de medição. Neste momento, a temperatura da superfície da amostra muda bruscamente e o aparelho regista a evolução do fluxo de calor. Simultaneamente, é medida a espessura da amostra.

Esse aparelho avalia os seguintes parâmetros:

$\lambda$  ( $10^{-3}$ ) - Condutividade térmica (propriedade estacionária ou dinâmica – W/m<sup>0</sup>K).  
Exprime a quantidade de calor que flui pelo material, por unidade de comprimento.

$\alpha$  ou  $a$  ( $10^{-6}$ ) - Difusão térmica (m<sup>2</sup>/s). Descreve a velocidade de propagação da temperatura (calor) no material: impulso térmico.

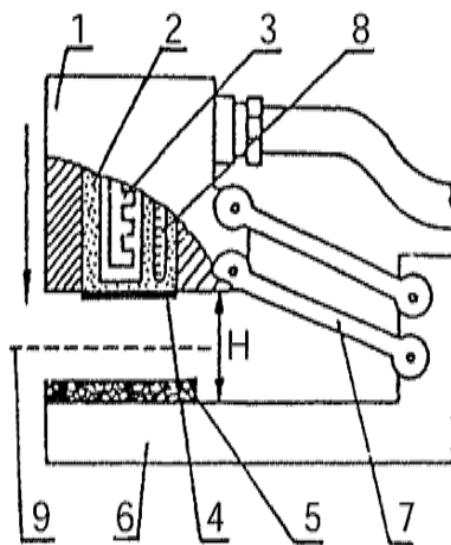
**B** = Absortividade térmica (propriedade estacionária - Ws<sup>1/2</sup>/m °K). Representa o fluxo instantâneo que ocorre quando dois corpos semi-finitos, com diferentes temperaturas, entram em contacto físico.

**r** = ( $10^{-3}$ ) - resistência térmica (propriedade estacionária estacionária – m<sup>2</sup> °K/W).

Exprime a resistência oferecida por um dado material ao fluxo de calor: razão entre a espessura e a condutividade térmica.

**h** = (mm) - Espessura do material<sup>[34]</sup>

O instrumento Alambeta está detalhado na figura que se segue:



Chaves

1-Cabeça de mensuração

2-Bloco de descida

3- Aquecimento elétrico

4-Placa do sensor aquecida

5- Placa de mensuração

6-Base do instrumento

7-Mecanismo de levantamento da cabeça do instrumento

8-Resistência do termômetro

9-Distância de simulação de ensaios.

**Figura 3.20 Esquema detalhado do equipamento de análise térmica Alambeta**

Embora o equipamento Alambeta avalie várias propriedades térmicas, no presente projeto serão avaliados três:

$\lambda$  = condutividade térmica (W/m<sup>°K</sup>)

$b$  = Absortividade térmica (Ws<sup>1/2</sup>/m<sup>°K</sup>), e

$r$  = Resistência térmica ( m<sup>2</sup> °K/W).

Para a conversão de grandezas efectuou se o seguinte cálculo:

$$\frac{W}{m.K} = \frac{0,859 \text{ kcal}}{h.m.272,15 \text{ }^{\circ}\text{C}} = \frac{0,003 \text{ kcal}}{h.m.^{\circ}\text{C}} \quad (\text{eq. 04})$$

Onde:

Kcal= Kilo caloria

h= hora

m= metro

°C= graus Centígrados

### 3.4.1 Procedimentos

Os ensaios foram efectuados de acordo com as regulamentações internas do laboratório de ensaios físicos têxteis da Universidade do Minho.

Aparelho utilizado para os ensaios foi o medidor de propriedades térmica Alambeta, anteriormente descrito.

Para se determinar as propriedades térmicas dos corpos de teste, essas análises foram efectuadas da seguinte forma:

Cinco corpos de teste com 10 cm x 10 cm foram preparados, de cada diferente composição. Calibrou se o equipamento de acordo com a normas do laboratório,



que estava climatizado, com temperatura ambiente de 19 °C e humidade relativa do ar de 65%.

O quadro 3.27 apresenta os resultados obtidos nos ensaios das propriedades térmicas dos corpos de prova dos não-tecidos.

| <b>Corpo de Prova 80 RE20PET</b>                       | <b>ct1</b> | <b>ct2</b> | <b>ct3</b> | <b>ct4</b> | <b>ct5</b> | <b>Média</b> |
|--|------------|------------|------------|------------|------------|--------------|
| $\lambda$ = condutividade térmica (W/m <sup>0</sup> K) | 44,5       | 49,8       | 65,4       | 65,6       | 67,2       | 55,85        |
| b= Absortividade térmica (Ws1/2/m °K )                 | 36,8       | 48,3       | 47         | 53         | 49         | 42,9         |
| r= Resistência térmica ( m2 °K/W)                      | 140        | 178        | 214        | 224        | 215        | 177,5        |
| <b>Corpo de Prova 90RE10 PET</b>                       |            |            |            |            |            |              |
| $\lambda$ = condutividade térmica (W/m <sup>0</sup> K) | 61,5       | 64,5       | 61,4       | 56,4       | 62,6       | 62,05        |
| b= Absortividade térmica (Ws1/2/m °K )                 | 47,6       | 53         | 46,6       | 43,8       | 51,9       | 49,75        |
| r= Resistência térmica ( m2 °K/W)                      | 205        | 190        | 202        | 198        | 200        | 202,5        |
| <b>Corpo de Prova A1FG</b>                             |            |            |            |            |            |              |
| $\lambda$ = condutividade térmica (W/m <sup>0</sup> K) | 49,1       | 43,7       | 46,7       | 47,5       | 54,5       | 48,3         |
| b= Absortividade térmica (Ws1/2/m °K )                 | 45,4       | 47,3       | 43,2       | 43,8       | 50,2       | 47,8         |
| r= Resistência térmica ( m2 °K/W)                      | 184        | 178        | 154        | 138        | 147        | 165,5        |
| <b>Corpo de prova A2FG</b>                             |            |            |            |            |            |              |
| $\lambda$ = condutividade térmica (W/m <sup>0</sup> K) | 49,3       | 49,2       | 43,3       | 40,8       | 42,7       | 45,06        |
| b= Absortividade térmica (Ws1/2/m °K )                 | 47,8       | 44,6       | 43,7       | 44         | 41,2       | 44,26        |
| r= Resistência térmica ( m2 °K/W)                      | 184        | 178        | 154        | 148        | 147        | 162,2        |
| <b>Corpo de prova A3FG</b>                             |            |            |            |            |            |              |
| $\lambda$ = condutividade térmica (W/m <sup>0</sup> K) | 42,3       | 41,6       | 40,6       | 40,3       | 38,6       | 40,45        |
| b= Absortividade térmica (Ws1/2/m °K )                 | 38,9       | 40,2       | 42,2       | 38,8       | 42,33      | 40,615       |
| r= Resistência térmica ( m2 °K/W)                      | 127        | 130        | 131        | 121        | 119        | 123          |

Quadro 3.27 Propriedades térmicas para as amostras de não tecido

### 3.4.1 Resultados obtidos

O quadro 3.28 apresenta os valores médios para cada um dos parâmetros das propriedades térmicas avaliados.

| Propriedades Térmicas   | 90RE10PET | 80RE20PET | A1FG | A2FG | A3FG | Média | Desvio Padrão | C.V. (%) |
|---|-----------|-----------|------|------|------|-------|---------------|----------|
| Condutividade térmica ( $\lambda$ ) (W/m $^{\circ}$ K)          | 62        | 56        | 45   | 48   | 40   | 50,2  | 8,786         | 17,50    |
| Absorvância térmica ( $\alpha$ ) (W s $^{1/2}$ /m $^{\circ}$ K) | 50        | 43        | 44   | 48   | 41   | 45,2  | 3,70          | 8,18     |
| Resistência térmica ( $R$ ) (m $^2$ $^{\circ}$ K/W)             | 202       | 177       | 162  | 165  | 123  | 165,8 | 28,64         | 17,27    |

Quadro 3.28 - Resultados médios das amostras de não tecidos

A figura 3.21, relata o comportamento das amostras de não-tecido quando ensaiado no equipamento Alambeta. A figura 3.21 mostra a junção média dos valores apontados durante o teste de comportamento térmico, pode se concluir o seguinte:

- de todas as composições testadas a que tem melhor desempenho quanto a condutividade térmica é a amostra A3FG, isto se deve provavelmente ao facto desta amostra ter uma maior concentração de fibras de vidro que chega a 30% da sua massa. Sendo o mesmo observado nas duas amostras que têm na sua composição fibras de vidro A1FG e A2FG, sendo

que há um comportamento inesperado com relação a A1FG, pois essa amostra tem uma condutividade um pouco menor que A2FG.

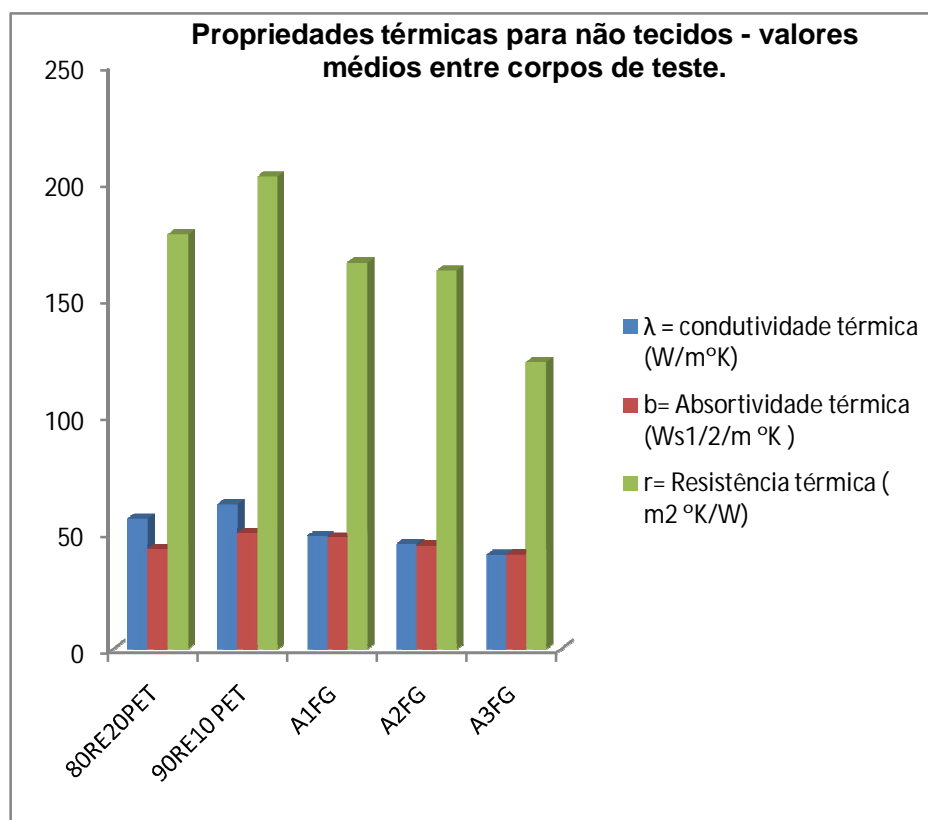


Figura 3.21 Valores médios obtidos no ensaio das propriedades térmicas das amostras não-tecido

## **CAPÍTULO IV**

### **DESENVOLVIMENTO DO ECO-COMPÓSITO**

#### **4.1 Desenvolvimento do eco-compósito a partir do não-tecido**

##### **4.1.1 Introdução**

As fibras celulósicas (resíduos), fibras de vidro e as fibras termoplásticas foram preparadas e utilizadas na produção do não-tecido como descritos no capítulo anterior.

As fibras naturais e sintéticas, conjuntamente com as fibras de vidro em percentuais e composições diferenciadas, terão como matriz a fibras termoplásticas, que só adquirirão essa característica após a termofusão com compressão. A técnica de moldagem por compressão será usada para a preparação do painel de compósito, sendo analisadas após esse processo suas evoluções características mecânicas adquiridas. As reais possibilidades de aplicação como material de isolamento térmico e acústico, sendo que essa última propriedade não será analisadas no âmbito deste trabalho.

##### **4.1.2 Produção do material compósito**

Para a produção do material compósito, utilizou-se os não-tecido descritas no capítulo III.

A produção do compósito moldado por compressão, iniciou – se tendo com base estrutural o não-tecido com as composições variáveis de fibras.

Os testes preliminares de procura de ponto de fusão da matriz termoplástica para que a mesma não se perdesse, “escorrendo” do compósito, foram realizados em estufa no laboratório de Processos Têxteis da Universidade do Minho.

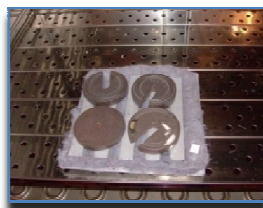
Diversos pré-testes foram efectuados com insucesso nas primeiras tentativas como mostra as figuras



**Figura 4 1 Molde com que se iniciou a produção**



**Figura 4 2 Vista da estufa utilizada em ensaios preliminares.**



**Figura 4 3 Primeira tentativa de produção do compósito.**



**Figura 4 4 Primeira tentativa de produção do compósito**

A procura do ponto ideal de temperatura para que houvesse a fusão das fibras termoplásticas, sem que as fibras que compõe os desperdícios e fazem parte da composição do não-tecido, fossem danificadas, levou a várias tentativas e erros. Chegando -se a temperatura ideal para o processo de moldagem. Sendo esta temperatura fixada em 250 °C.

Os corpos de prova foram moldados um a um, na Prensa, que está instalada no Departamento e Polímeros da Universidade do Minho, este equipamento está detalhado no item 4.4, deste capítulo.

## **4.2 Desenvolvimento do molde utilizado**

O molde ou seu desenho adoptado nesse processo, foi se alterando durante a pesquisa devido à dificuldade de produção da forma.

Deixa-se aqui a observação que seria muito interessante o estudo das formas geométricas – por exemplo as formas anecóicas - em sinergia com a constituição mássica tanto qualitativa quanto quantitativa, sendo esse estudo voltado quando a influência do molde na não convecção do ar dentro do compósito, tendo com isso uma maior eficiência isolante do compósito. Sendo essa influência observada com o estudo levando em conta o comportamento térmico.

Devido ao insucesso do primeiro molde desenvolvido, pensou -se – numa forma para a moldagem do compósito. O molde foi desenhado de maneira a formação de concavidades no compósito, onde o ar fica - se, parado entre as fibras e a forma do compósito, para que não houvesse a convecção do mesmo. A espessura

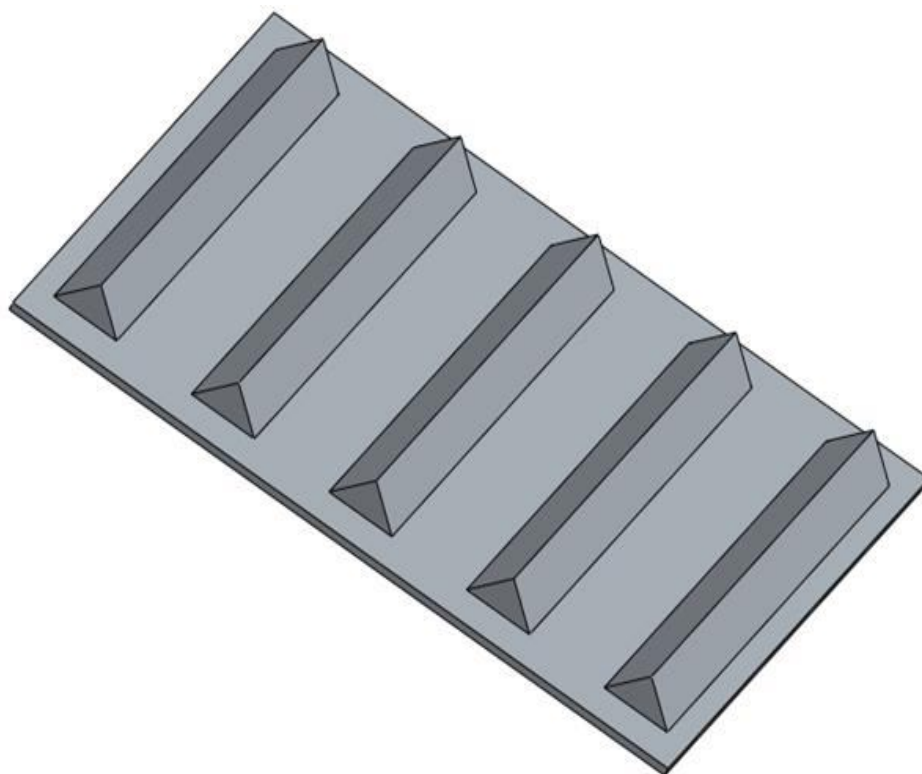
e o material utilizado foram alterados, no primeiro molde utilizou – se alumínio, que se mostrou muito frágil a compressão, então optou-se pelo ferro para a confecção do segundo e definitivo molde.

Chegando ao formato final melhor descrito nas figuras. Para a moldagem do material compósito foram utilizadas um par de moldes de 20 cm x 20 cm, sendo essa acoplada uma na outra constituindo um sistema “macho-Fêmea”.

Foram utilizadas barras de 0,5 cm de espessura como, contentores de espessura, para que todos os compósitos fossem moldados com mesma espessura, saindo da forma com aproximadamente 3 mm.

#### **4.2.1 Moldes**

As figuras seguintes mostram os desenhos dos moldes utilizados.



**Figura 4.5 Vista superior do molde utilizada para a moldagem do compósito**



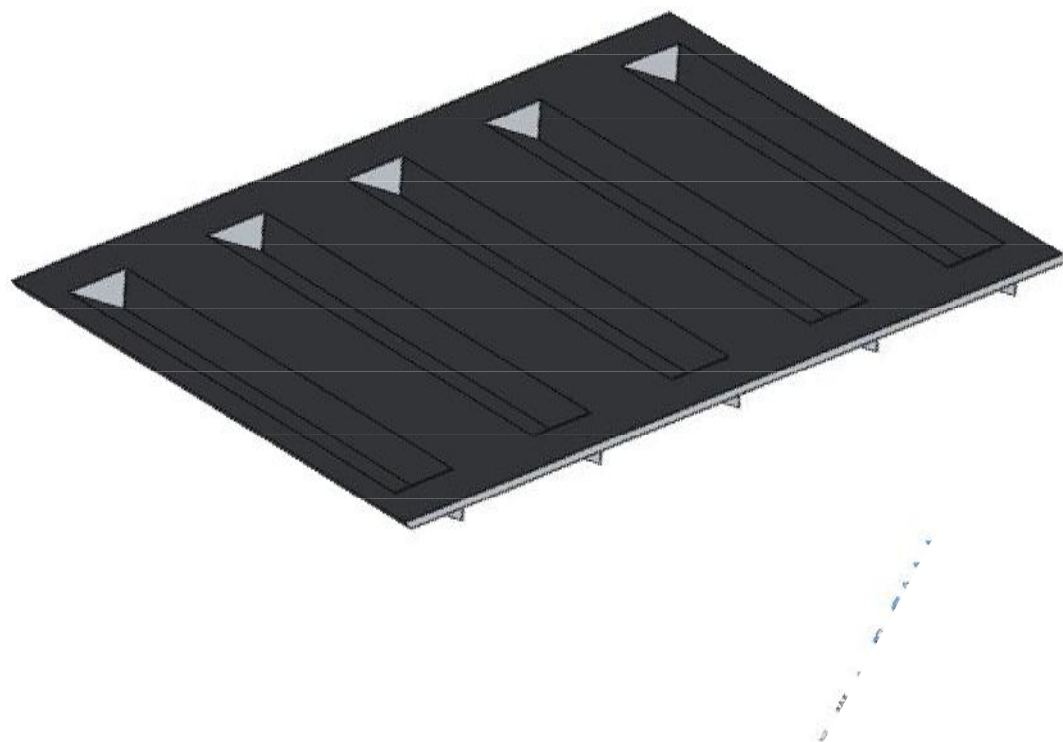
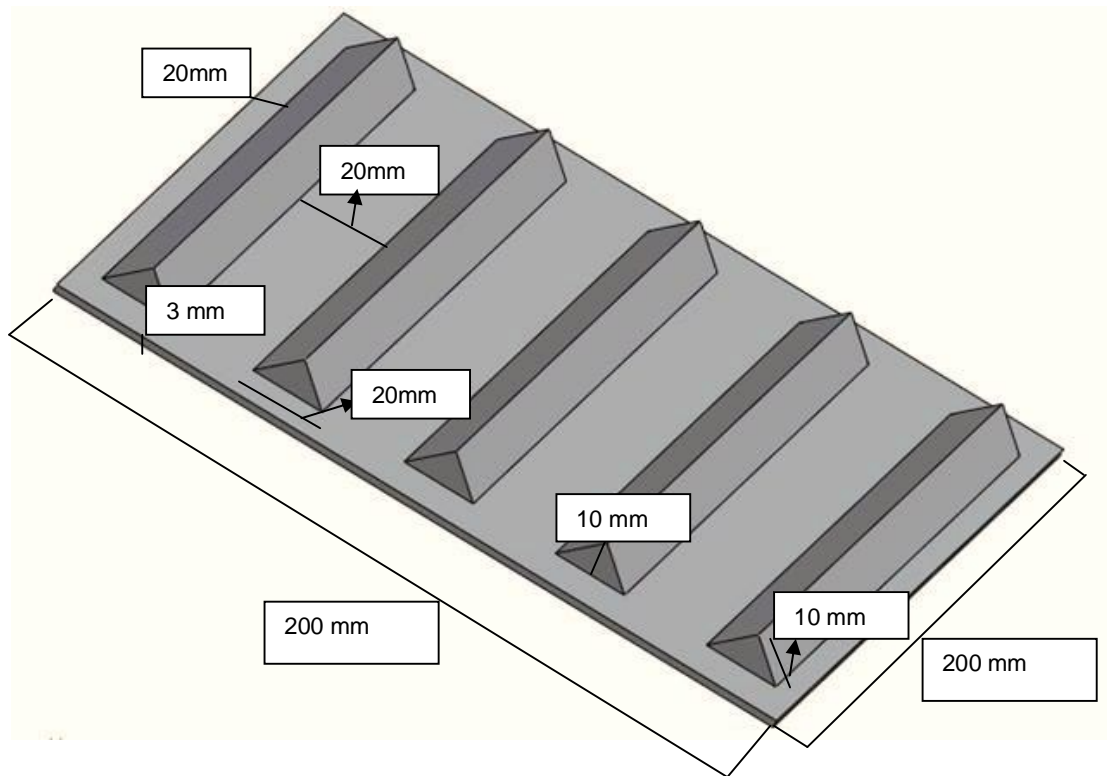


Figura 4.6 Desenho da parte inferior do jogo de moldes



**Figura 4.7 Desenho com cotagens do molde**

As fibras celulósicas (resíduos), fibras de vidro e as fibras termoplásticas foram preparadas e utilizadas na confecção do não-tecido como descritos em itens anteriores.

As fibras naturais e sintéticas, mais as fibras de vidro em percentuais e composições diferenciadas, terão como matriz as fibras termoplásticas, que só adquiriram essa característica após a termofusão com compressão. A técnica de moldagem por compressão será usada para a preparação do painel de compósito,

sendo analisadas após esse processo suas evoluções características mecânicas adquiridas. As reais possibilidades de aplicações como isolante térmico e acústico, sendo que essa última propriedade não será nesse trabalho analisadas por falta de tempo de hábil.

### **4.3 Produção do compósito**

Para a produção do compósito, utilizaram-se as mantas de não-tecido descritas no Capítulo III.

A produção do compósito moldado por compressão, iniciou-se tendo com base estrutural o não-tecido com as composições variáveis de fibras.

Os testes preliminares de procura de ponto de fusão da matriz termoplástica para que a mesma não se perdesse, “escorrendo” do compósito, foram efectuados em estufa no laboratório de Processos Têxteis da Universidade do Minho.

Deixa-se aqui a observação que seria muito interessante a observação das formas geométricas em sinergia com a constituição mássica tanto qualitativa quanto quantitativa, sendo esse estudo voltado quando a influência da forma na não convecção do ar dentro do compósito, tendo com isso uma maior eficiência isolante do compósito. Sendo essa esta influência observada com o estudo voltado ao comportamento térmico e acústico do compósito. Não sendo viável essa observação nesse trabalho devido ao tempo reduzido. Então a opção de estudo do compósito moldado apenas sob essa forma geométrica.

Os não tecidos foram preparados para a moldagem da seguinte forma:

De cada composição de amostra foram retirados cinco recorte de 20 cm X 20 cm.

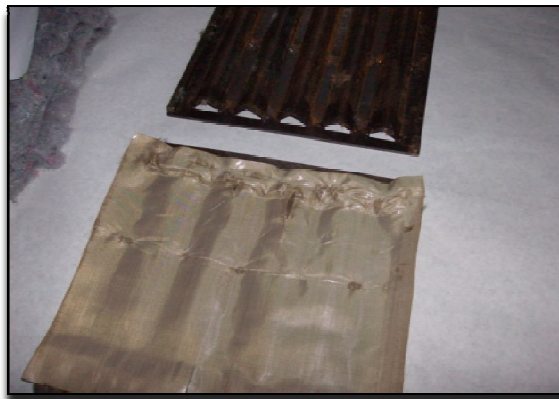


**Figura 4. 8 Conjunto de moldes macho/fêmea**

Para que o material compósito se desmoldasse após o arrefecimento, foram utilizados filmes de silicone para a protecção do compósito.

Sequência da montagem das mantas de não tecidos dentro do molde:

1 - Forrou-se o molde com o filme de silicone:



**Figura 4. 9 Conjunto de moldes macho/fêmea com primeiro o filme de silicone**

2 - Colocou-se a manta sobre o filme:



**Figura 4. 10 Conjunto de moldes macho/fêmea com o primeiro filme de silicone + não-tecido**

3 - Colocou-se um filme silicone para protecção:



**Figura 4. 11** Conjunto de moldes macho/fêmea com o primeiro filme de silicone + não tecido+ filme

4 – Colocou-se as barras de contenção nas laterais, montou-se a forma fechando-a.



**Figura 4.12** Conjunto de moldes macho/fêmea com primeiro filme de silicone + manta+ filme+ forma

Desta forma o conjunto estava preparado para ir à prensa para a moldagem.

## **4.4 Equipamento utilizado para a moldagem do compósito**

Este equipamento, figura 4.13, está disponível no Departamento de Polímeros da Universidade do Minho.

O equipamento é composto de dois pratos que transmitem calor.

A temperatura dos pratos superior e inferior são regulados por dois botões frontais.

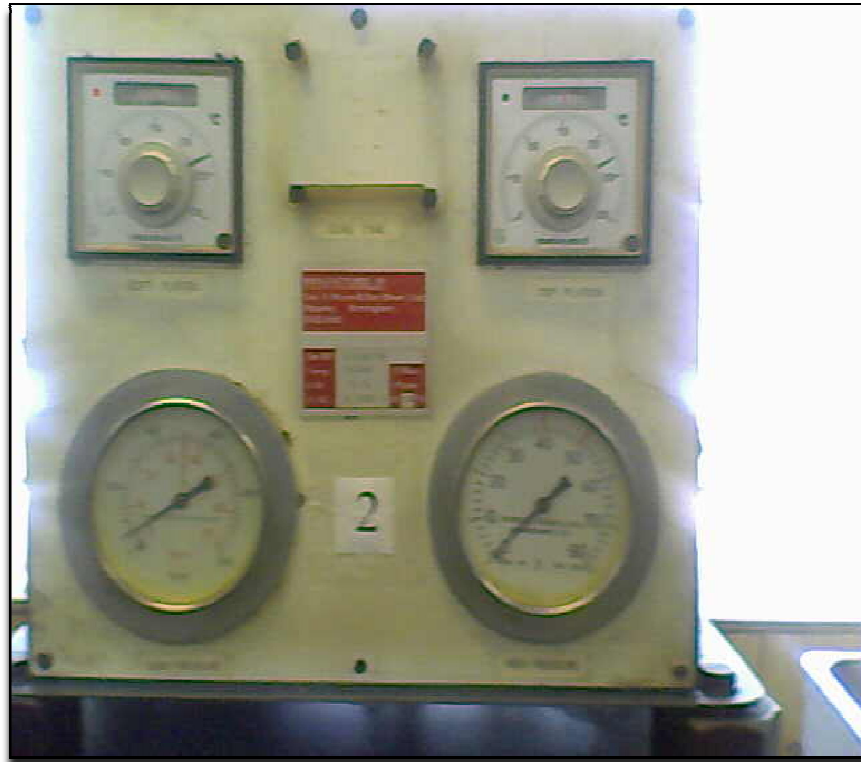
Um mostrador indica a temperatura dos pratos inferior e superior.

Dois mostradores redondos, indicam a pressão que estão a exercer os pratos.

A regulação da pressão é feita por intermédio de um braço de metal móvel que por movimento de alavanca move os pratos, fazendo com que se fechem.

Para que a abertura dos pratos ocorra existe uma válvula que quando accionada libera os mesmos.

Segundo os processos internos de utilização do laboratório de Polímeros, o equipamento foi ligado cerca de 30 minutos anteriores ao início das moldagens para os pratos focem aquecidos de forma adequada.



**Figura 4.13** Vista do equipamento utilizado para a moldagem do compósito

As amostras foram preparadas tal como ilustrado na sequência de figuras 4.8 a 4.12.

As formas montadas na sequência descrita anteriormente foram inseridas entre os pratos pré aquecidos a 250 °C, ficando sob pressão de 1 tonelada, por 10 minutos.

Após decorrido o tempo, o conjunto forma e amostra, foram retirados da prensa e resfriado com ar comprimido, por 10 minutos, para que o compósito mantivesse a forma adquirida durante a moldação.

Sendo retirado o compósito após o arrefecimento do mesmo.



Observou – se com cuidado o completo arrefecimento, isto se deve ao objectivo final de obtenção do compósito com a forma adquirida, sendo que a retida do compósito ainda quente o deformaria, devido às características do termoplástico, que agora deixa a forma de fibra, para assumir a condição de matriz do compósito.



**Figura 4.14** Conjunto de formas com compósito já moldado sendo arrefecida

O compósito após o arrefecimento por dez minutos com ar comprimido, toma a forma definitiva, como se vê na figura 4.15.



**Figura 4.15** Compósito moldado arrefecido

A Figura 4.16 mostra todos os materiais utilizados na confecção do compósito, o não tecido, os filmes de silicone as barras de contenção, os moldes e o compósito.



**Figura 4. 16** Compósito moldado, jogo de moldes e barras de contenção

## CAPÍTULO V

### AVALIAÇÃO DAS PROPRIEDADES DO ECOCOMPÓSITO

#### 5.1 Introdução

Neste capítulo apresentam-se todos os resultados obtidos nos ensaios realizados nas amostras de material compósito, bem como na conformação do painel(is), de material compósito e a posterior análise com o material base, o não-tecido.

##### 5.1.1 Determinação da massa volúmica das amostras

Esta característica física do compósito foi encontrada fazendo-se a leitura da sua espessura com um paquímetro.

Relativamente à sua massa, esta foi medida a partir de balança analítica de precisão.

Todos os dados referentes às amostras foram colectados no Laboratório de Processos Têxteis da Universidade do Minho, segundo as regras internas de utilização. A massa volúmica foi encontrada usando-se a equação:

$$D = \frac{M}{V} \quad \text{Eq. (05)}$$

Onde:

D = massa volúmica (g/cm<sup>3</sup>)

M= massa (g)

V= volume (cm<sup>3</sup>)

O quadro 5.1 apresenta os valores da massa volúmica para cada uma das amostras.

| Identificação    | Massa Volúmica         |
|------------------|------------------------|
| <b>90RE10PET</b> | 0,31g/cm <sup>3</sup>  |
| <b>80RE20PET</b> | 0,30 g/cm <sup>3</sup> |
| <b>A1FG</b>      | 0,29 g/cm <sup>3</sup> |
| <b>A2FG</b>      | 0,36g/cm <sup>3</sup>  |
| <b>A3FG</b>      | 0,34g/cm <sup>3</sup>  |

Quadro 5.1- Massa volúmica das amostras

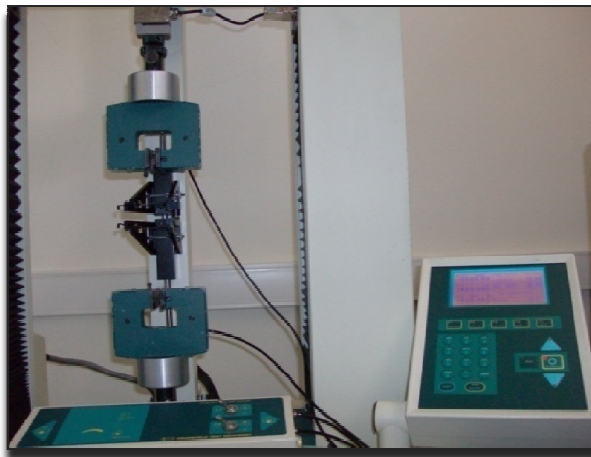
## 5.2 Propriedades dos compósitos

As propriedades mecânicas em tracção dos compósitos foram testadas de acordo com as Normas Internacionais (International Standard) ISO 9073-3: 1989. Este é método de teste padrão para determinação de tensão e do alongamento.

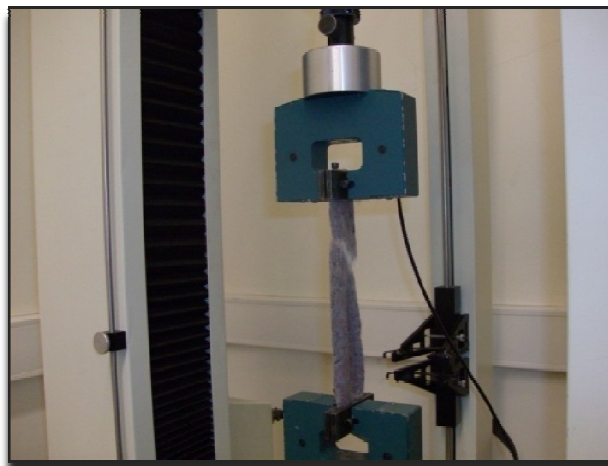
Os corpos de prova foram preparados com as dimensões de 50 x250 mm. Estas amostras foram retiradas do compósito no sentido de saída da máquina, ou seja no sentido em que a manta de não tecidos sai da secção de agulhagem como se vê na figura 3.8.

Os corpos de prova foram ensaiados no Dinamómetro Hounsfield com uma velocidade de 100 mm/min. A preparação dos corpos de prova, a calibração do equipamento e os padrões de análise podem ser lidos na Norma ISO respectiva. <sup>[29]</sup>

As figuras seguintes mostram detalhes do equipamento utilizado.



**Figura 5.1** Dinamómetro Hounsfield utilizado nos ensaios de resistência à tracção



**Figura 5.2** Vista de um corpo de prova rompido após conclusão do ensaio no Dinamómetro Hounsfield

### 5.3 Resultados

O quadro 5.2 mostra os resultados obtidos no ensaio de tracção para a amostra 90RE10PET.

|               | Resistência à Tracção (N) | Alongamento (mm) |
|---------------|---------------------------|------------------|
| Média         | 24,08                     | 3,89             |
| Desvio padrão | 15,87                     | 2,25             |
| C V (%)       | 65,90                     | 58               |
| Máximo        | 56,25                     | 5,6              |

Quadro 5 2 – Resultados estatístico da amostra 90RE10PET

A figura 5.3 mostra a curva carga-alongamento para amostra 90RE10PET.

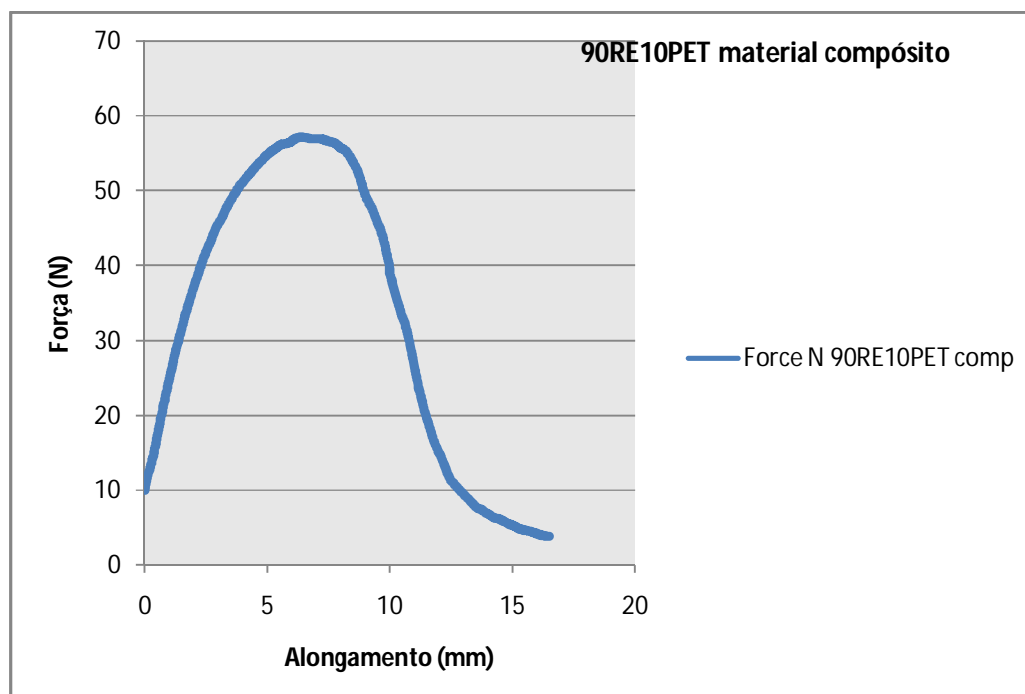


Figura 5.3 Curva carga alongamento para amostra 90RE10PET

O quadro abaixo mostra os pontos máximos da curva tracção-alongamento do gráfico 5.4.

|                      | <b>Resistência à<br/>tracção (N)</b> | <b>Alongamento<br/>(mm)</b> |
|----------------------|--------------------------------------|-----------------------------|
| <b>Média</b>         | 54,89                                | 11,60                       |
| <b>Desvio padrão</b> | 35,37                                | 6,70                        |
| <b>C V (%)</b>       | 64,43                                | 57,75                       |
| <b>Máximo</b>        | 116,75                               | 7,58                        |

**Quadro 5.3 - Resultados estatísticos da amostra 80RE20PET**

As figuras 5.3 e 5.4 ilustram o comportamento do compósito em tracção. Observa-se que na amostra onde existe a maior adição de polímero amostra 80RE20PET, contendo 20% de PET, figura 5.4, a força necessária para que haja o mesmo alongamento é sensivelmente superior aplicada na amostra com menor adição de polímero 90RE10PET, que contém 10% de PET figura 5.3.

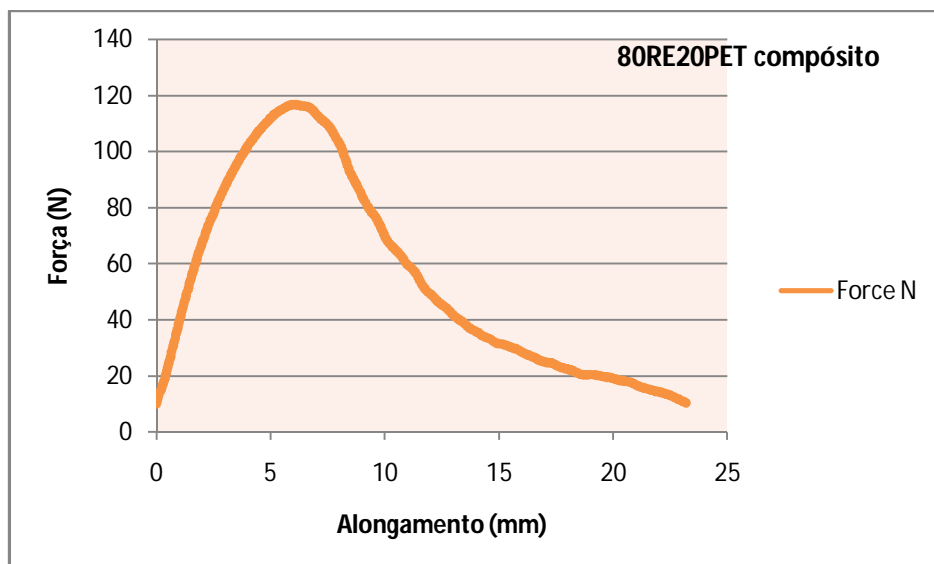


Figura 5.4 Resultados do ensaio de à resistência a tracção para amostra 80RE20PET

O quadro 5.4 apresenta os resultados para ensaio de tracção para amostra A1FG.

|               | Resistência à tracção (N) | Alongamento (mm) |
|---------------|---------------------------|------------------|
| Média         | 11,70                     | 9                |
| Desvio padrão | 16,57                     | 5,21             |
| C V (%)       | 70,60                     | 57,88            |
| Máximo        | 58,13                     | 4,88             |

Quadro 5 4 – Resultados estatísticos para amostra A1FG

A figura 5.5 mostra a curva de comportamento em tracção referente ao ensaio da amostra A1FG compósito.



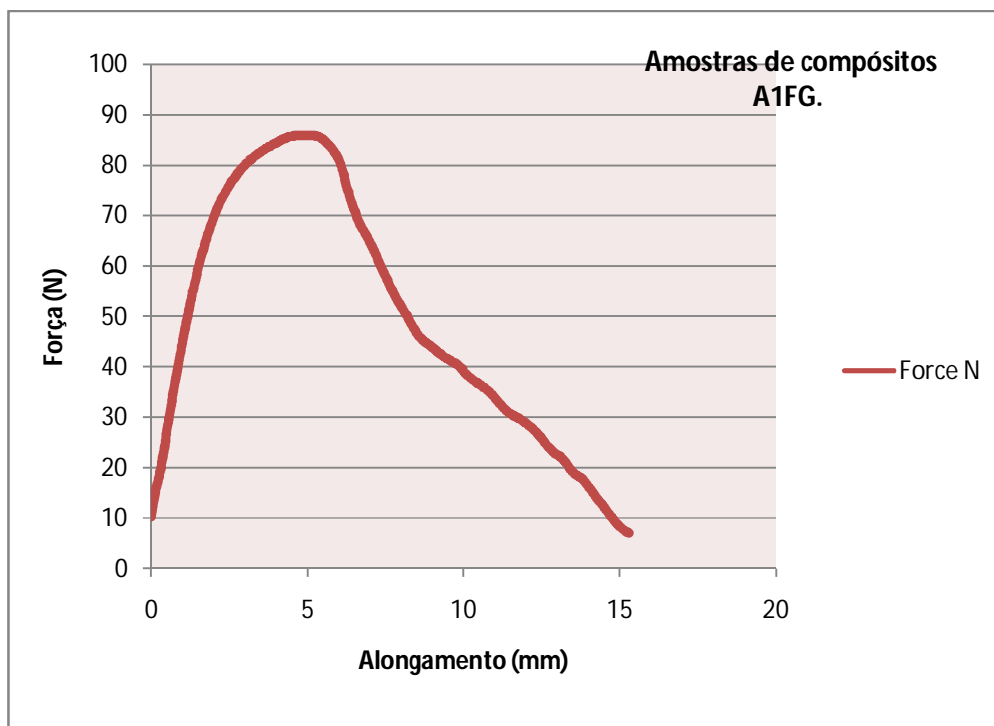


Figura 5.5 Curva carga-alongamento para amostra A1FG

O quadro 5.5 mostra os resultados obtidos no ensaio de tracção para amostra A2FG.

|                      | Resistência à tracção (N) | Alongamento (mm) |
|----------------------|---------------------------|------------------|
| <b>Média</b>         | 31,24                     | 20,22            |
| <b>Desvio padrão</b> | 41,26                     | 11,69            |
| <b>C V (%)</b>       | 13,20                     | 58               |
| <b>Máximo</b>        | 131,10                    | 2,4              |

Quadro 5 5 – Dados estatísticos para amostra A2FG

Nos provetes contendo fibras de vidro o comportamento em ensaio de tracção é muito superior ao observado nas amostras das figuras 5.3 e 5.4, as quais amostras não contêm fibra de vidro.

Todos os provetes das figuras 5.5 a 5.8, A1FG, A2FG e A3FG, têm o mesmo comportamento à tracção, do início do alongamento até a cisão ou melhor os provetes têm um comportamento dúctil por volta dos 2 a 3 mm e a sua ruptura se inicia em aproximadamente 8 a 9mm de alongamento.

A amostra A3FG, mostra - se mais resistente sendo necessário que a força aplicada seja próxima do dobro da amostra A2FG.

A figura 5.6 ilustra o ensaio de resistência à tracção para a amostra A2FG.

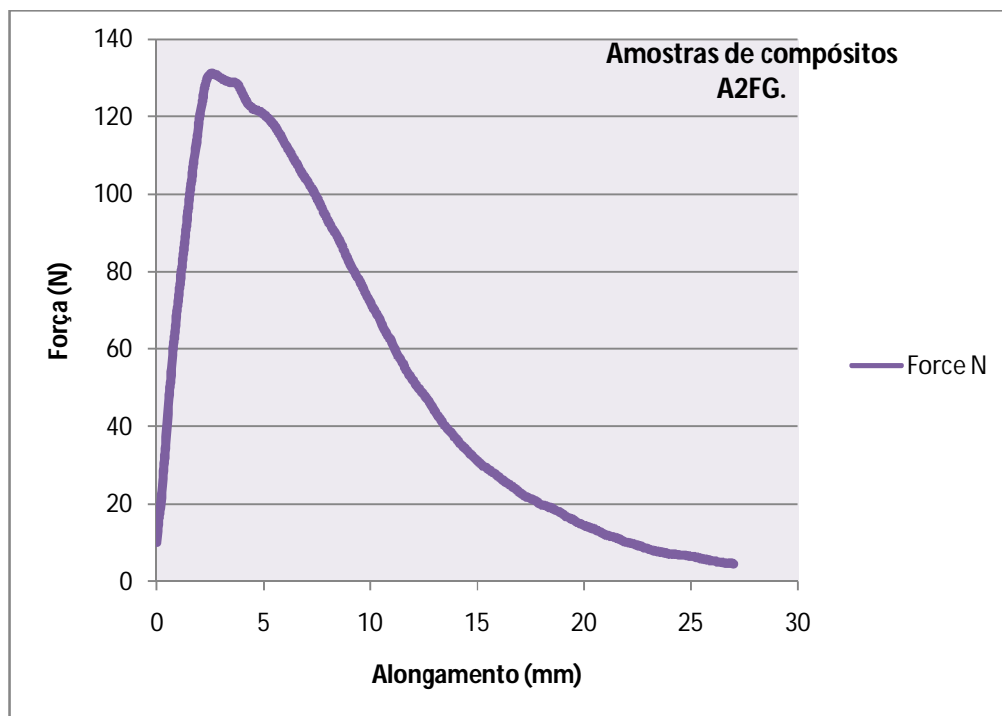


Figura 5.6 Curva carga-alongamento para a amostra A2FG

O quadro 5.6 ilustra os resultados obtidos nos ensaio de tracção para amostra A3FG.

|                      | Resistência à tracção (N) | Alongamento (mm) |
|----------------------|---------------------------|------------------|
| <b>Média</b>         | 134,34                    | 134              |
| <b>Desvio padrão</b> | 40,89                     | 41               |
| <b>C V (%)</b>       | 30,43                     | 30,59            |
| <b>Máximo</b>        | 165,60                    | 6,64             |

Quadro 5 6 – Resultados estatísticos para ensaio de tracção para amostra A3FG

A figura 5.7 mostra a carga-alongamento para amostra A3FG.

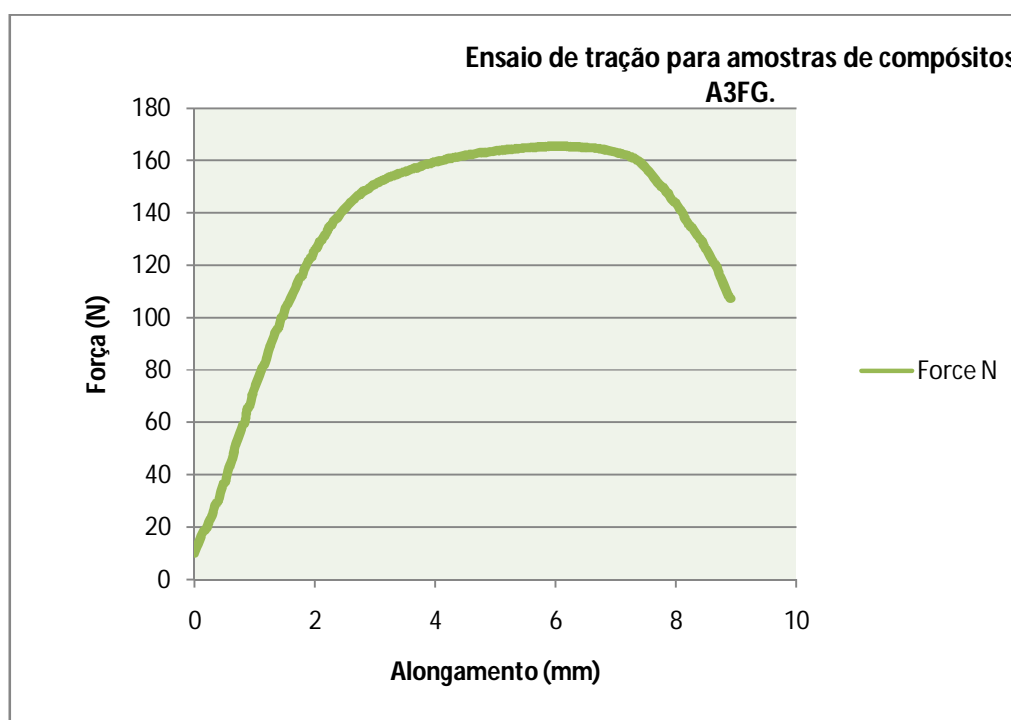


Figura 5.7 Curva carga-alongamento para amostra A3FG

As características comportamentais dos materiais compósito em ensaio de tracção, observa-se, na figura 5.8. Pode-se verificar a progressão gradual da força aplicada nas amostras A2FG com 20% de fibra de vidro e A3FG com 30% de fibra de vidro. É importante a observação com relação à amostra A1FG com 10% de fibra de vidro, que tem um comportamento diferenciado das duas amostras referidas anteriormente. Observa-se que a curva referente a esta amostra se localiza entre as duas outras amostras que não contêm fibras de vidro, sendo que a amostra 80RE20PET, com 20% de fibras PET, apresentam um melhor desempenho em relação a A1FG. Isto se deve provavelmente ao fato da menor adição de fibras longas PET à amostra A1FG, e o percentual de 10% de fibras de vidro sendo insuficientemente relevante na influência do aumento da resistência à tracção quando comparada com as amostras com composição superior em fibra de vidro, e as composições com adição superior de fibras PET.

Ao comparar-se a amostra A1FG com a amostra 90RE10PET, nota-se a influência da fibra de vidro na resistência. Embora a amostra 90RE10PET tenha os mesmos 10% de fibras PET a sua resistência à tracção é menor.

A figura 5.8 ilustra a identificação do comportamento do material compósito quando submetido aos ensaios de tracção.

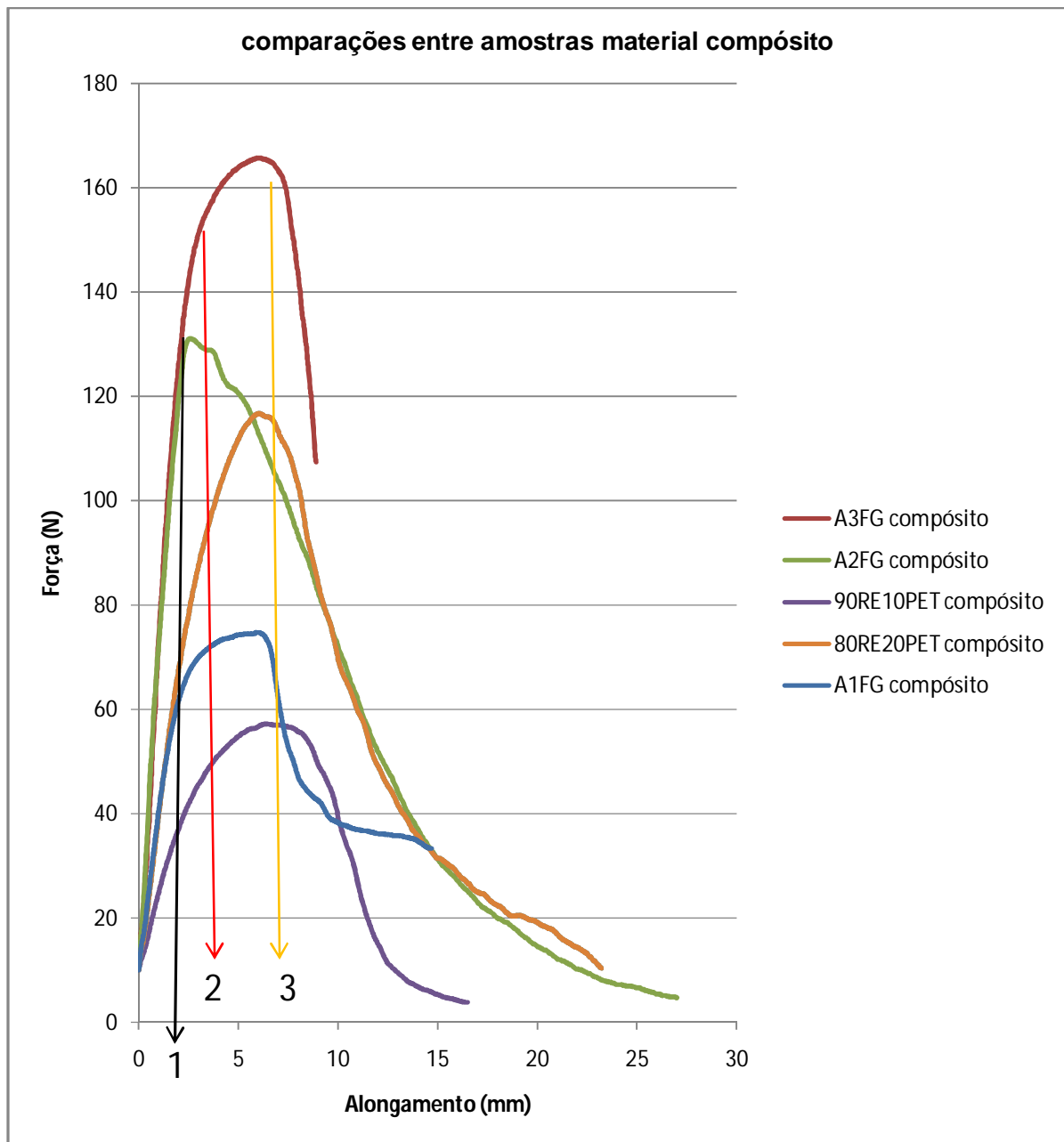


Figura 5.8 Curvas carga-alongamento para todas amostras de eco- compósito

Na figura 5.8 as áreas da curva demarcadas com as setas indicativas definem:

↓ (1) **Área elástica.**

Este ponto na linha do gráfico corresponde a área onde o material compósito começa a sofrer deformação no entanto se cessada a carga de tracção, ainda apresenta capacidade de retorno ao estado inicial de sem sofrer alteração na sua estrutura.

↓ (2) **Área inelástica.**

Nesta área identificada na curva o material é alongado até ocorrer a deformação. Esta deformação sofrida é permanente, não havendo retrocesso ao estado inicial.

↓ (3) **Área de cisão ou ruptura**

Nesta área da curva à representação da completa cisão do material ensaiado. Por meio do Figura 5.8 é possível verificar a influência clara da fibra de vidro no aumento da resistência à tracção das amostras, Sendo a resistência menor na amostra 80RE20PET – onde é composta de 80% de resíduos têxteis e 20% de PET. E a resistência é maior na curva referente a amostra A3FG, a qual leva em sua composição 30% de fibra de vidro, 20% de Fibras PET e 50% de fibras de desperdícios. A comparação analítica entre os testes de resistência a tracção das amostras de não tecido e os materiais compósitos não são relevantes, devido a fragilidade intencional na produção dos não tecidos.

## 5.4 - Formas de construção / montagem dos painéis eco-compósitos para análises da permeabilidade ao ar das propriedades térmicas

As várias formas de montagem dos painéis mostram se nas figuras 5.9 a 5.12.

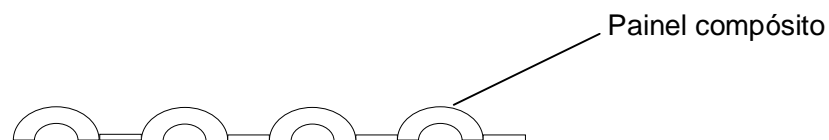
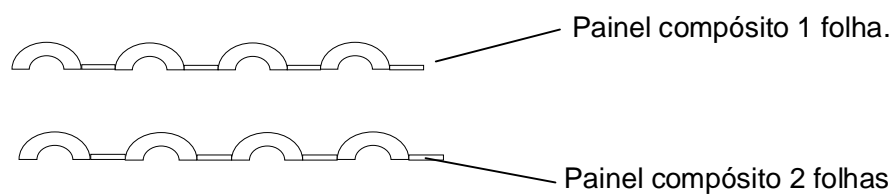


Figura 5.9 Desenho do painel composto simples

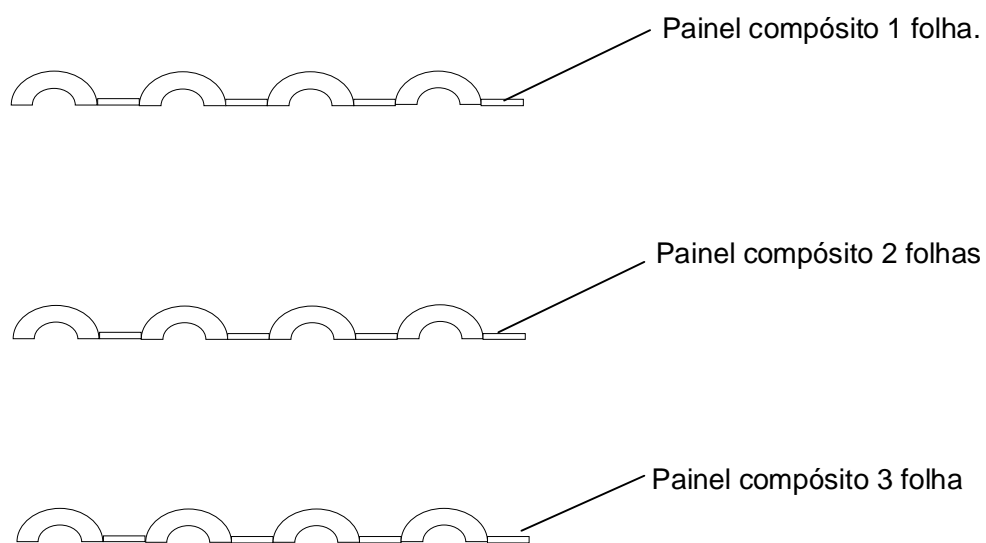


Sobreposição dos painéis compostos com encaixe:



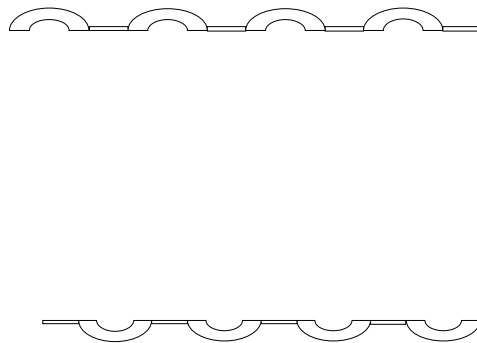
**Figura 5.10** Formação do painel com dois compostos sobrepostos

Forma de construção do painel com três sobreposições de compostos:



**Figura 5.11** Formação do painel com três compostos

Forma de construção do painel com duas sobreposições de compósitos, formando concavidades:



**Figura 5.12 Formação do painel em Sandwich**

## 5.5 Determinação da permeabilidade ao ar dos eco-compósito

Os ensaios foram efectuados segundo a norma NP ENISO 9237<sup>[32]</sup>.

O aparelho utilizado foi o Permeabilímetro Textest FX 3300, em laboratório climatizado, com temperatura ambiente de 19 °C e humidade relativa do ar de 65%.

Os provetes ensaiados foram no total de cinco para cada composição, com as dimensões de 10 cm x 10 cm.

A figura 5.13 ilustra o equipamento utilizado.



Figura 5.13 Equipamento de análise de permeabilidade ao ar

Os ensaios foram efectuados calibrando - se o equipamento segundo as instruções do laboratório, sendo a pressão do ar que passa pela amostra de 200 Pa.

Os dados lidos pelo equipamento são apresentados num mostrador à frente do mesmo.

O quadro 5.7 mostra os valores obtidos nos ensaios realizados de permeabilidade ao ar.

| Identificação             | cp1  | cp2  | cp3  | cp4  | Média  | Desvio padrão | C. V. % |
|---------------------------|------|------|------|------|--------|---------------|---------|
| 1 x1 80RE20PET            | 432  | 558  | 571  | 519  | 520    | 62,68         | 62      |
| 1x2 80RE20PET sobrepostas | 571  | 460  | 471  | 508  | 502,5  | 25,03         | 25      |
| 1x2 80RE20PET Sand        | 304  | 312  | 381  | 341  | 334,5  | 34,83         | 35      |
| 1x1 90RE10PET             | 358  | 360  | 375  | 372  | 366,25 | 8,5           | 8       |
| 1x2 90RE10PET sobrepostas | 445  | 340  | 346  | 367  | 374,5  | 48,40         | 48      |
| 1x2 90RE10PET Sand        | 384  | 249  | 247  | 299  | 294,75 | 64,17         | 64      |
| 1x1 A1FG                  | 1090 | 1190 | 1290 | 1130 | 1175   | 86,98         | 87      |
| 1x2 A1FG sobrepostas      | 688  | 697  | 710  | 693  | 697    | 8,15          | 8       |
| 1x2 A1FG Sand             | 654  | 629  | 627  | 621  | 632,75 | 14,56         | 15      |
| 1x1 A2FG                  | 645  | 789  | 693  | 637  | 709    | 73,32         | 73      |
| 1x2 A2FG sobrepostas      | 429  | 353  | 361  | 442  | 396,25 | 45,74         | 46      |
| 1x2 A2FG Sand             | 348  | 374  | 443  | 442  | 401,75 | 48,23         | 48      |
| 1x1 A3FG                  | 767  | 821  | 728  | 802  | 779,5  | 35,48         | 35      |
| 1x2 A3FG sobrepostas      | 430  | 490  | 520  | 436  | 469    | 43,40         | 43      |
| 1x2 A3FG Sand             | 390  | 380  | 400  | 378  | 387    | 10,13         | 10      |

Quadro 5.7 – Permeabilidade ao ar para as amostras com conformação dos painéis

A figura 5.14, ilustra os resultados obtidos nos ensaios de permeabilidade ao ar.

Pode observar - se que a permeabilidade ao ar diminui muito após a fusão das fibras PET, no compósito onde deixa de ser fibra e assume a função de matriz, fazendo com que a amostra se torne menos permável ao ar, ou seja o compósito fica “plastificado”.

Existe uma variação também razoável em vários pontos da amostra quando a permeabilidade, devido a maior ou menor concentração de matriz polimérica. Pode-se observar que a homegeinização das das fibras que comporam o não tecido,não de depositaram de forma uniforme. Para corrigir esta variável o cuidado na homegeinização das fibras que compõe o não-tecido base deve ser maior do que o aplicado.

Pelas análises pode-se observar uma maior concentração de determinadas fibras em determinados pontos do que em outros da manta que deu origem ao compósito.

Este facto explica os valores dos C. V (%) - (Coeficiente de Variação percentual), onde há uma variação acentuada entre os valores, sendo em determinadas amostras elevados como se paresenta nas amostras 1X1 A1FG e 1X2 A1FG sobreposta valores estes ilustrados no quadro 5.7.

No gráfico ilustrado na figura 5.14 pode –se avaliar as propriedades de permeabilidade adotadas pelo material compósito em conformação painel.

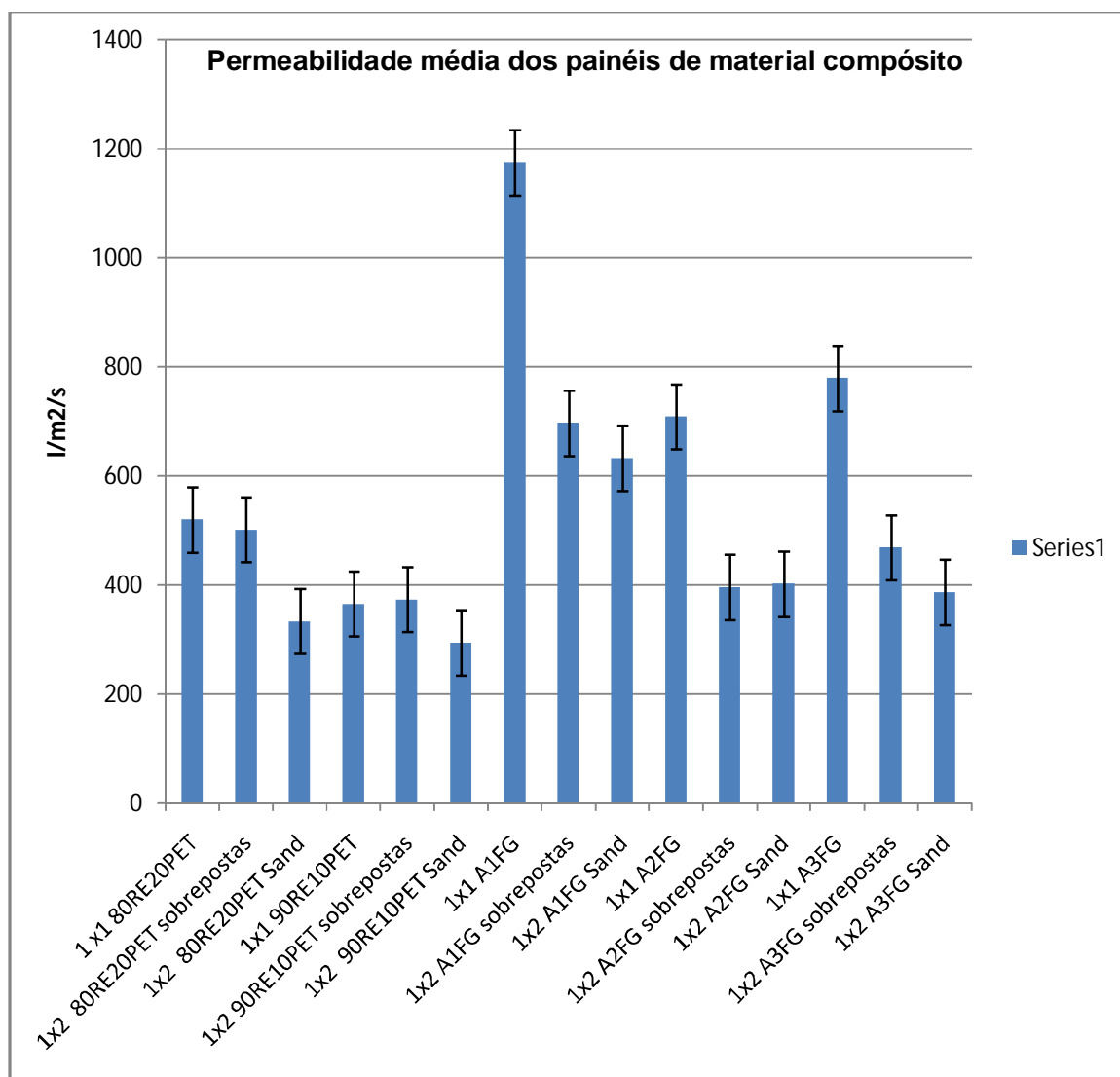


Figura 5.14 Gráfico de resultados de permeabilidade ao ar das amostras

## **5.6 Determinação das características das propriedades térmicas do eco-compósito**

Os ensaios foram efectuados de acordo com as regulamentações internas do laboratório de ensaios físicos têxteis da universidade do Minho.

O aparelho utilizado foi o Alambeta, anteriormente descrito no capítulo III.

Foram realizados ensaios sobre cinco corpos de teste com 10 cm x 10 cm, de cada diferente composição. Calibrou-se o equipamento de acordo com as normas laboratório.

Foram efectuados cinco ensaios para cada uma das formas de montagem dos painéis, ilustrados nas figuras 5.9 a 5.12.

No quadro 5.8, estão presentes os resultados dos ensaios relativos as propriedades térmicas para os materiais compósito em formação painel.

|  | <b>b</b><br>Absortividade<br>Térmica<br>( $w_s1/2/m$ °K) | <b>r-</b><br>Resistência<br>Térmica ( $m^2$<br>°K/W) | <b>Λ</b><br>Condutividade<br>Térmica<br>(W.m.°K) |
|--|--|--|--|
| <b>80RE20PET- compósito</b>            | 42,9   | 177,5  | 55,85  |
| <b>80RE20PET- Sandwich 1x2</b>         | 20,6   | 183,7  | 102,16   |
| <b>80RE20PET- Sobreposta 1x2</b>       | 35,9   | 167,8  | 127,66   |
| <b>80RE20PET - NT</b>                  | 38,86  | 148,6  | 63,28  |
| <b>90RE10PET compósito</b>             | 45,02  | 142,8  | 62,74  |
| <b>90RE10PET compósito Sand 1x2</b>    | 43,24  | 178,2  | 87,12  |
| <b>90RE10PET comp. - Sobrep .1x2</b>   | 37,42  | 192,25   | 97,35  |
| <b>90RE10PET - NT</b>                  | 49,75  | 202,5  | 62,05  |
| <b>A1FG Compósito</b>                  | 43,8   | 177  | 118  |
| <b>A1FG - sobrepostas 1x1</b>          | 41,3   | 188  | 116  |
| <b>A1FG - 1X1 - Sandwich</b>           | 45   | 201  | 113  |
| <b>A1FG - Não tecido</b>               | 49,08  | 170,7  | 43,5   |
| <b>A2FG Compósito</b>                  | 42,9   | 196  | 111  |
| <b>A2FG - sobrepostas 1x1</b>          | 44,8   | 186  | 89,3   |
| <b>A2FG - 1X1 - Sandwich</b>           | 42,6   | 157  | 69,1   |
| <b>A2FG - Não tecido</b>               | 47,8   | 165,5  | 48,3   |
| <b>A3FG- Compósito 1x1</b>             | 30,04  | 166  | 87,2   |
| <b>A3FG- Compósito 1x1- sobreposta</b> | 46,4   | 181  | 76,6   |
| <b>A3FG- Compósito 1x1- Sandwich</b>   | 40,01  | 151,3  | 75,64  |
| <b>A3FG - Não tecido</b>               | 40,61  | 123  | 40,45  |

Quadro 5.8 - Propriedades térmicas das amostras e formas de montagens de painéis



O quadro 5.9 mostra os valores médios de todas as amostras como painel simples ensaiadas, bem como, os respectivos valores de desvio padrão e coeficiente de variação percentual.

| Propriedades Térmicas  | 90RE10PET | 80RE20PET | A1FG | A2FG | A3FG  | Média  | Desvio Padrão | C. V. % |
|--|-----------|-----------|------|------|-------|--------|---------------|---------|
| $\lambda$ = condutividade térmica (W/m <sup>0</sup> K)         | 62,74     | 55,85     | 118  | 111  | 87,2  | 86,95  | 27,82         | 31,9    |
| b= Absortividade térmica (Ws <sup>1/2</sup> /m <sup>0</sup> K) | 45,02     | 42,9      | 23,8 | 42,9 | 30,04 | 36,93  | 4,22          | 11,4    |
| r= Resistência térmica ( m <sup>2</sup> °K/W)                  | 142,80    | 177,5     | 177  | 196  | 166   | 171,86 | 19,49         | 11,3    |

Quadro 5.9 – Dados estatísticos para as amostras de material compósito

### 5.6.1 – Análise comparativa entre não-tecidos e compósitos

De todas as amostras ensaiadas a que apresenta com melhor desempenho em menor condutividade térmica é a amostra da amostra A3FG, sendo sua conformação em painel sandwich 1 X 1 obtendo resultados mais eficiente.

Todas as grandezas apresentadas pelo equipamento Alambeta para condutividade térmica estão em (W/m<sup>0</sup>K), para a avaliação da possível compatibilidade com os isolantes existente no mercado, faça – se necessária a conversão destes valores, pois a grandeza mais usualmente utilizada é kcal/h.m<sup>0</sup>C, esta conversão se dá pela constante 0,003 kcal/h.m.<sup>0</sup>C, descrita no Capítulo III na equação 04.

Tomando-se como referência o dados coletados para o compósito A3FG com montagem em forma de painel sandwich 1 X 1, conforme resultados listados no

Quadro 5.8 onde os valores  $75,64 \text{ W/m}^2\text{K}$ , quando convertidos tem – se  **$0,22 \text{ kcal/h.m}^2\text{C}$** .

Nas análises dos ensaios observa-se o comportamento do não-tecido com mais baixa condutividade térmica em relação às demais amostras de material compósito. Este facto se deve a ideia inicial da não compactação, isto favorece a não convecção interna do ar que fica retido entre as fibras do manto, e ainda à espessura do não-tecido que tem em média 8 mm, quando comparado ao compósito com 3 mm, estando este por sua vez compactado. A análise revela que a amostra tem a condutibilidade térmica semelhante à da fibra de vidro, que é considerado um excelente isolante térmico. No entanto a proporção desta fibra na amostra é de 30%.

As figuras 5.15 e 5.16, ilustram os resultados dos ensaios para propriedades térmicas dos compósitos em formação painel e dos não-tecidos, no sentido de possibilitar um estudo comparativo entre os materiais.

Os resultados ilustrados pela figura 5.19 referem-se aos ensaios para propriedades térmicas para as amostras sem fibras de vidro, que são a 90RE20PET e a 80RE20PET, na formação de painéis e na comparação com o não-tecido.

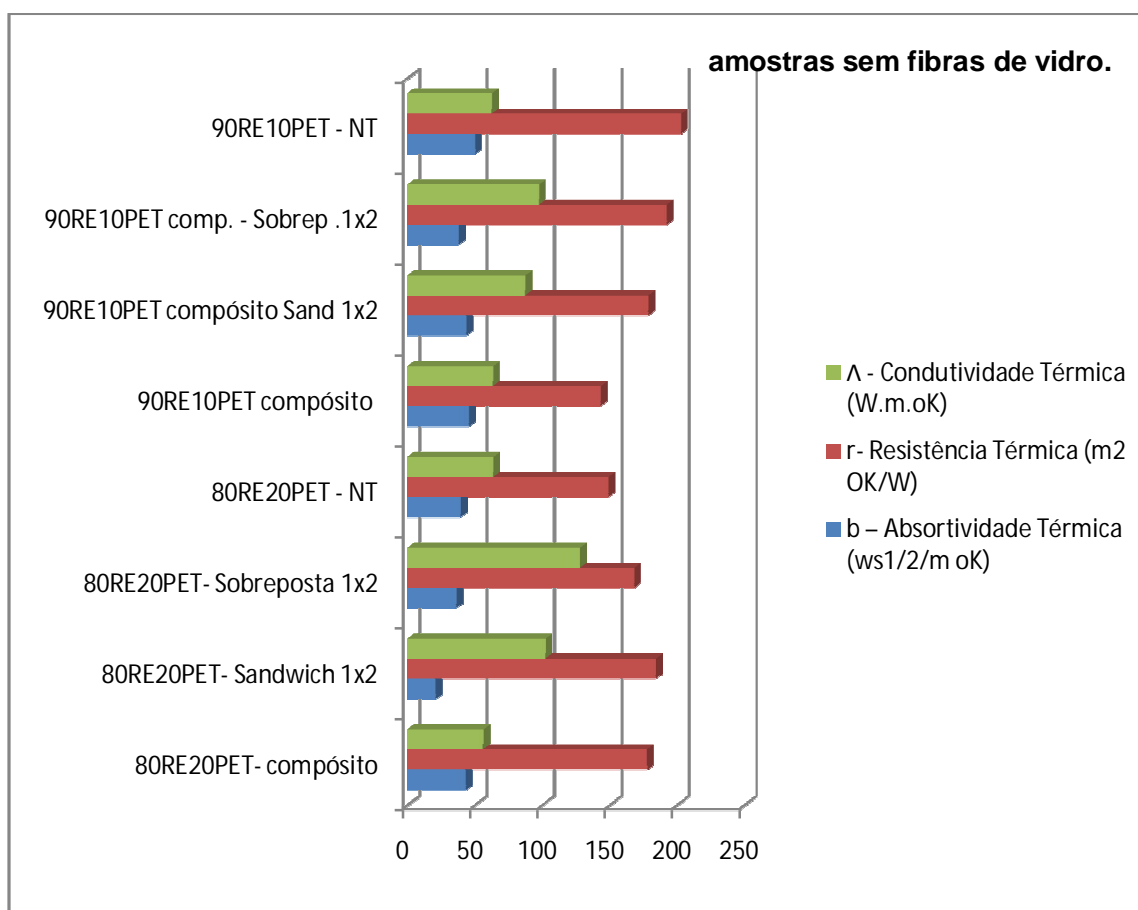


Figura 5.15 Propriedades térmicas para painéis de material compósito sem fibras de vidro

A figura 5.20 ilustra os resultados de propriedades térmicas referentes as amostras que contêm fibra de vidro, em formação de painéis.

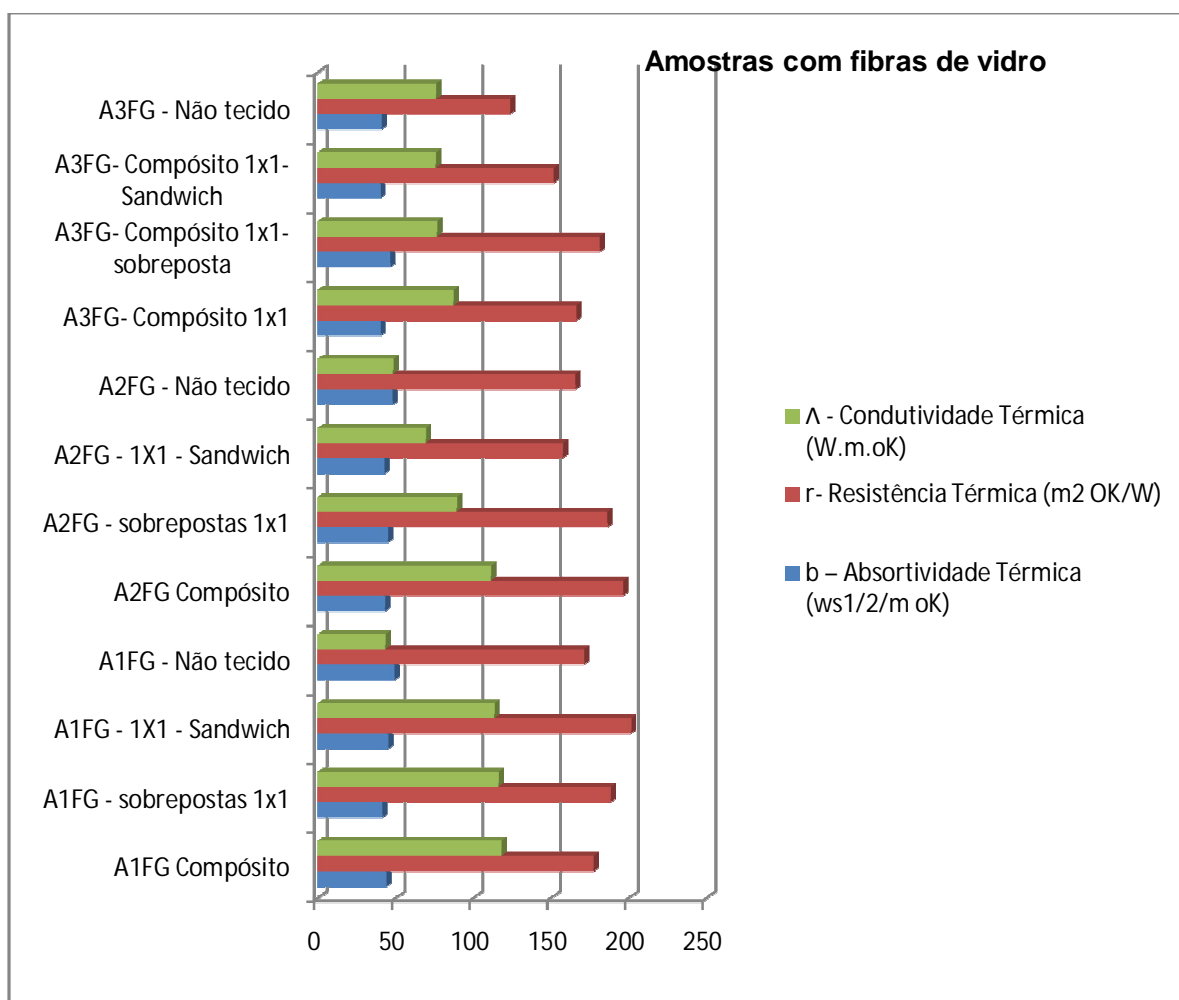


Figura 5.16 Propriedades térmicas para painéis de material compósito com fibras de vidro

## CAPÍTULO VI

### 6.1 Conclusões

Ao longo da história o uso e aplicações de materiais compósitos tem aumentado consideravelmente em áreas, tão distintas quanto a aeroespacial, ou dentro de corpos humanos como próteses, passando por chassis de veículos de transporte, etc. As suas aplicações e os materiais utilizados no seu fabrico, tem se ampliado em numa gama quase infinita de possibilidades, dado a flexibilidade de produção, a utilização de fibras e resinas, desenvolvidas até o momento. Os incontáveis números de estudo científicos sobre os compósitos mostram realmente sua importância e o grande interesse, não só por parte da comunidade científica, bem como da sociedade, na sua real aplicação. Devido flexibilidade e baixo custo do processos, as infinitas aplicações, a grande versatilidade em ser moldado, as suas características adquiridas dependendo das fibras e das matrizes utilizadas, oferece nos a exacta visão de onde e para onde vai a produção mundial dos compósitos. Actualmente procura-se a obtenção de compósitos que possam ser reciclados, o que ainda hoje é um empecilho para este tipo de produto, visto que a sua durabilidade tanto é um item de altíssimo valor agregado, pois os objectos confeccionados com matérias compósitos têm uma vida de utilização elevadíssima, como a sua biodecomposição quando descartado no meio ambiente é um entrave, levando tempos extraordinários para que esse processo se conclua.

O isolamento térmico é uma das medidas mais eficientes para a conservação de energia de arrefecimento e aquecimento nas construções.

O isolamento tem sido alvo de um interesse crescente nos últimos anos, não só pelo facto ambiental de consumo energético, mas também pelo preço crescente e elevado de energia. A poupança de energia e o seu uso eficiente têm-se tornado relevante.

A proposta inicial deste projecto, foi concluída com sucesso, sendo que foi possível desenvolver e ensaiar um material eco-compósito com forma a partir de fibras recicladas e de garrafas PET. Logo a utilização de descartes de desperdícios fibrosos e de fibras termoplásticas recicladas para a obtenção de um compósito é viável.

O estudo foi direccionado com na ênfase, a investigação das propriedades térmicas, sendo que neste caso, foi estudada a aplicação do eco-compósito como revestimento de isolamento térmico. O comportamento demonstrado pelo material nesta particular é bastante interessante sendo que a amostra A3FG apresentou um valor de condutividade térmica  $0,23 \text{ kcl/h.m.}^{\circ}\text{C}$ , muito próxima da de fibra de vidro. Refira-se que este valor é obtido com uma massa volúmica a variar entre  $0,31$  e  $0,34 \text{ gcm}^3$ , o que se situa abaixo dos materiais utilizados para o mesmo fim.

Por estas razões é possível afirmar que o seu estudo para a produção comercial é viável, pois a necessidade de diminuição de peso sobre as estruturas das edificações, o aumento do espaço útil construído, é favorecido pela menor espessura das paredes, sendo que o isolamento, além de ter que ser eficiente também tem que possuir uma espessura condizente. Este eco-compósito deverá ser utilizado no interior de paredes. A fim de evitar a degradação provocada pela humidade externa.

Tomando-se como exemplo uma norma regulamentar referente a condições de isolamento térmico de um país membro da comunidade Européia, neste caso a Espanha, têm-se que, segundo a NBE CT – 79<sup>[37]</sup> e o DB-HE<sup>[38]</sup> vê-se por exemplo que a transmissão térmica exigida em Àvila é de  $0,70 \text{ W/m}^2.\text{K}$  e segundo o DB-HE a transmissão de isolamento térmico nas canárias é de  $0,50 \text{ W/m}^2.\text{k}$ .

Lembrando-se que as amostras tem apenas 3 mm médio de espessura, e não fez-se o estudo da razão dentre espessura e condutividade térmica, do eco-compósito no entanto as análises apontam no sentido que quanto maior a espessura do material menor sua condutividade térmica.

A busca de um isolante eficiente e com menor espessura é o que a comunidade envolvida busca.

Com esta investigação, prova-se que é viável, um material de isolamento produzido a partir de resíduos eficiente e de baixo custo.

## 6.2 Perspectivas futuras

Os resultados obtidos com a realização deste trabalho, originam várias outras questões e abrindo um leque de oportunidades para novos trabalhos de investigação.

Assim parece interessante o estudo do comportamento acústico do material eco-compósito desenvolvido sendo que esta propriedade, não foi passível de ser estudada.

O estudo da inserção do eco-compósito dentro dos tijolos ou blocos que seram utilização em edifício possibilitaria a diminuição da espessura das paredes, com isso o peso exercido sobre a estrutura. Este estudo parece ser também bastante interessante.

Por outro lado, o estudo da aplicação de gesso sobre o compósito, formando assim painéis compósitos que poderiam ser utilizados em divisórias internas de construções.

Cabe ressaltar a necessidade da maior homogeneização das fibras no manto inicial, pois é a partir deste que se obtém maior reprodutibilidade dos materiais a desenvolver.



## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] DL 80/2006 – RCCTE – Regulamento das Características do Comportamento Térmico de Edifícios.
- [2] Eficiência Energética no Edifícios – Direcção Geral de Energia Ministério da Economia.
- [3] Lamberts, R. e tal. (2000). Desempenho Térmico de Edificações. Florianópolis, s ed mímeo.
- [4] Mascaró, J. L e tal.(1992) Incidência das variáveis Projectivas e da Construção no Consumo Energético dos Edifícios. Porto Alegre. Saga/DC Luzatto.
- [5] Filho,Guilherme de Albuquerque Cavalcante Ignácio Tavares de Araújo, 2008. Inovação Tecnológica nas MPE'S da Indústria de Confecções de João Pessoa – PB e Efeitos sobre o Emprego. Tese ( Mestrado em Economia). Universidade Federal da Paraíba.
- [6] Mano , E. B. Mendes L. C.; Introdução a polímeros, 2ª edição, São Paulo:Edgar Blucher Ltda.
- [7] Wan, E., Galembeck.(2002). Cadernos temáticos de Química. Nº 2. Rio de Janeiro: Nova Escola.
- [8] Agnelli, J. A. M. (1996). Polímeros Ciência e Tecnologia. Vol 4 e 9. São Paulo: Editora Abril.
- [9] Spinacè, Marcia Aparecida da Silva e De Paoli. (2007). Tecnologia da Reciclagem de Polímeros. Rio de Janeiro: Blucher
- [10] O que é PET.(2008) [na rede], [acedido a 23 de Maio de 2008] Disponível em [www.abipet.org.br](http://www.abipet.org.br)
- [11] PET (2009) [na rede], [acedido em 26 de Abril 2009]. Disponível em [www.petcore.org](http://www.petcore.org).

- [12] PET. (2009) [na rede], [acedido em 04 de Setembro de 2009]. Disponível em [www. Planetaplastico.com.br](http://www.Planetaplastico.com.br)
- [13] Identificação de Polímeros (2009) [na rede], [acedido em 04 de Setembro de 2009]. Disponível em [www.plastval.pt](http://www.plastval.pt)
- [14] Forlin, Flávio J. e Faria, José de Assis. (2009) Considerações Sobre a reciclagem de Embalagens Plásticas. Artigo Científico. FEA.UNICAMP.
- [15] Plásticos (2009) [na rede], [acedido em 10 de Outubro 2009]. Disponível em [www.abint.org.br](http://www.abint.org.br)
- [16] Reciclagem (2009). [na rede], [acedido em 13 de Outubro de 2009]. Disponível em [www.petcore.org.br](http://www.petcore.org.br)
- [17] Araújo, M., Figueiro, R. e Hong, H. (2001). Têxteis Técnicos: Materiais do Novo Milénio. Vol.2. Braga: Williams/DGI.
- [18] Têxteis Técnicos. (2009) [na rede], [acedido em 15 janeiro de 2009]– CENESTAP - Centro de Estudos Têxteis Aplicados. Disponível em [www.cenestap.com.pt](http://www.cenestap.com.pt)
- [19] De Moura, Marcelo, Morais Alfredo B. e Magalhães Antonio G. de. Materiais compósitos; Materiais Fabrico e Comportamento Mecânicos.Lisboa: Publindústria/Edições Técnicas.
- [20] Araújo, Mário de, E. M. de Melo e Castro. Manual de Engenharia Têxtil. Vol I.Braga:
- [21] Códigos (2009). [na rede], [acedido em 10 de Abril de 2009]. Disponível em [www.codigotecnico.org/index.php?id=33](http://www.codigotecnico.org/index.php?id=33)
- [22] De Moura, Marcelo, Morais Alfredo B. e Magalhães Antonio G. de. Materiais compósitos; Materiais Fabrico e Comportamento Mecânicos.Lisboa: Publindústria/Edições Técnicas.
- [23] Araújo, M, Figueiro.(2002). Optimização do desenvolvimento de pré formas em malhas de trama para materiais compósitos. Tese (doutoramento em Engenharia Têxtil). Universidade do Minho, Guimarães, Portugal.

[24] Novaes, José Fernandes Pinheiro (2004). Desenvolvimento de tecidos para reforços de materiais utilizando *towpregs*. Tese (mestrado em *design e marketing têxtil*). Universidade do Minho, Guimarães, Portugal.

[25] Laundahl, Anna. (2008). Study on waste fibre reinforced ecomposites. Tese (Mestrado). Universidade do Minho, Guimarães, Portugal.

[26] Mothé, Chelia G., De Araújo, Carla R. (2004). Caracterização Térmica e Mecânica de Compósitos de Poliuretano com Fibras Curauá. Artigo Científico. *Polímeros: Ciência e tecnologia*, Vol 14, nº 4, p 274-278.

[27] ..Finkler, Maira, Grupo de Polímeros, LPOL, UCS. .(2005) Compósitos de HDPE com resíduos de fibras têxteis Artigo Científico. *Polímeros: Ciência e tecnologia*, Vol 15, nº 3, p 171-175.

[28] Artigos científicos (2008). [na rede], [acedido em 2 de Fevereiro de 2008]. Disponível em [www.scielo.br/scielo.php?script=sciarttexdpid=s010414282001000300005&lng=ednrm=iso&tlq=e](http://www.scielo.br/scielo.php?script=sciarttexdpid=s010414282001000300005&lng=ednrm=iso&tlq=e)

[29] Normas, (2009). [na rede], [acedido em 28 de Agosto de 2009]. Disponível em [www.iso.org/iso/search](http://www.iso.org/iso/search).

## REFERÊNCIAS DE FONTES

- [1] [www.construclima.com.br/pdf/02.pdf](http://www.construclima.com.br/pdf/02.pdf)+condutibilidade
- [2] [www.metalica.com.br/pg\\_dinamica/bin/pg\\_dinamica.php?](http://www.metalica.com.br/pg_dinamica/bin/pg_dinamica.php?)
- [3] EPI – Estatísticas de Produção Industrial.
- [4] Fonte: EPI – Estatísticas de Produção Industrial.
- [5] Fonte: [www.planetaplastico.com.br](http://www.planetaplastico.com.br)
- [6] Tecnologia de Reciclagem de Polímeros
- [7] <http://www.matweb.com/reference/deflection-temperature.aspx>
- [8] [www.Abipet.org.br](http://www.Abipet.org.br)
- [9] [www. petcore.org.br](http://www.petcore.org.br)
- [10] Abipet - PCI Associate Consultant South America
- [11] Abipet - PCI Associate Consultant South America.